

**VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
ZUR VERDAULICHKEITSBESTIMMUNG
VON MISCHFUTTERATIONEN
BEIM SCHWEIN**

Reiner Rech

1973

Aus dem Institut für Tierphysiologie und aus dem
Institut für Ernährungsphysiologie der
Tierärztlichen Fakultät der
Universität München

Vorstände: Prof. DDr. Dr.h.c.mult. J. Brüggemann
Prof. Dr. Dr. J. Tiews †

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ZUR
VERDAULICHKEITSBESTIMMUNG VON
MISCHFUTTERNATIONEN BEIM SCHWEIN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-
Universität München

von

Reiner Rech

aus

Kirchheimbolanden

München 1973



Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan:	Prof. Dr. E. Dahme
Referent:	Prof. DDr. Dr.h.c.mult. J. Brüggemann
Korreferent:	Dr.Dr. H. Schulze
Tag der Promotion:	27.7.1973

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A EINLEITUNG	1
B LITERATUR	3
I. Verdaulichkeit und Futterbewertung	3
II. Verfahren zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Futterrationen	9
1. Der klassische Verdauungsversuch	9
2. Das Indikatorverfahren	11
3. Die Nylonbeutel-Technik	12
C PROBLEMSTELLUNG EIGENER UNTERSUCHUNGEN	16
D EIGENE UNTERSUCHUNGEN	18
I. Versuche zur Anwendbarkeit der Nylonbeutel-Technik für Verdaulichkeitsbestimmungen beim Schwein	18
1. Versuchstiere und ihre Haltung	18
2. Herstellung von Futterbehältern	20
a) Material	20
b) Form, Größe, Füllungsgrad	28
3. Eingabe der Futterbeutel und ihre Rückgewinnung	30
4. Untersuchungen zur Verbesserung der Wiederauffindungsrate	32
II. Vergleichende Untersuchungen der Trockensubstanz-(TS)-Verdaulichkeit von Mischfutterrationen nach der Nylonbeutel-Technik und der Chromoxid-Indikatormethode	41

	Seite
1. Zusammensetzung der Versuchsdiäten	41
2. Durchführung der Verdauungsversuche	44
a) Bestimmung der TS-Verdaulichkeit nach der Nylonbeutel-Technik	45
b) Bestimmung der TS-Verdaulichkeit nach der Chromoxidmethode	47
3. Überprüfung der Unverdaulichkeit der als Futterverdünner verwendeten Buchenholz-Cellulose	51
4. Ergebnisse der Verdaulichkeitsuntersuchungen	53
E DISKUSSION	60
F ZUSAMMENFASSUNG	77
SUMMARY	79
G LITERATURVERZEICHNIS	81
H LEBENS LAUF	

A) EINLEITUNG

Erfolg und Verdienst der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung wurden lange Zeit als mehr oder weniger vom Schicksal gegeben angesehen. Die heutigen bäuerlichen Betriebe sind jedoch aufgrund des fortschreitenden Strukturwandels in der Landwirtschaft gezwungen, sich auf eine betriebswirtschaftlich gerichtete Denkweise umzustellen.

Die Intensivhaltung ist heute die einzig erfolgsversprechende Form der Nutztierhaltung. Sie erfordert außer einem gesunden durchgezüchteten Viehbestand die weitgehende Mechanisierung einzelner Arbeitsgänge sowie den überlegten Einsatz der Futtermittel.

Die Möglichkeiten zur Deckung des Futterbedarfes in den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieben sind sehr verschieden, und die Kombination der Futtermittel in den Futterrationen muß deshalb oft variieren. Vielfach kann der Bedarf aus betriebseigenen Futtermitteln nicht gedeckt werden, und es wird der Zukauf von handelsüblichen Futtermischungen notwendig. Ein Austausch von Einzelkomponenten in der Ration muß, wenn die tierische Leistung bei geringstmöglichem Futterverbrauch aufrechterhalten werden soll, ohne Änderung des Nährwertes der Futterration vorgenommen werden.

Um den energetischen Futterwert von Rationen bzw. Futter-einzelkomponenten ermitteln zu können, ist die Kenntnis

der Nährstoffverdaulichkeit erforderlich. Da Bestrebungen, brauchbare Werte für die Verdaulichkeit der Nährstoffe indirekt durch Laboratoriumsversuche zu erhalten, bis jetzt nicht von grundlegendem Erfolg gewesen sind, bleibt weiterhin nur die indirekte Feststellung der Verdaulichkeit im Tierversuch. Die dazu notwendigen Ausnutzungsversuche sind jedoch relativ arbeitsaufwendig und langwierig.

Mir wurde die Aufgabe gestellt, die Anwendbarkeit der bisher nur an Pansenfisteltieren erprobten Nylonbeutel-Technik an Schweinen zur Bestimmung der Trockensubstanz-Verdaulichkeit von Mischfuttermischungen zu untersuchen, um möglicherweise mit diesem Verfahren eine technische Vereinfachung und zeitliche Abkürzung des klassischen Verdauungsversuches zu erreichen.

B) LITERATUR

I. Verdaulichkeit und Futterbewertung

Die ständige Nahrungsaufnahme ist für Mensch und Tier eine lebensnotwendige Voraussetzung. Die zugeführte Nahrung liegt jedoch nicht in resorptionsfähigem Zustand vor, sondern muß in ihrer physikalischen und chemischen Struktur vom Organismus weitgehend verändert werden. Die Vielzahl der sich beim Aufschluß der Nahrungsstoffe im Magen-Darmkanal abspielenden Prozesse sind äußerst komplex miteinander verknüpft und werden als Verdauung bezeichnet.

Die nicht verwertbaren unverdaulichen Futterbestandteile werden im Kot wieder ausgeschieden. Derjenige Futteranteil, der nach gleichmäßiger Fütterung über eine genügend lange Zeit von den einzelnen Futterstoffen nicht wieder im Kot erscheint, wird als verdaulich bezeichnet (28). Bei Untersuchungen zur Verdaulichkeit im Tierversuch können jedoch die endogenen Ausscheidungen (Darmbakterien, Darmepithelien, Reste von Verdauungssekreten) von den unverdaulichen Futterbestandteilen nicht abgetrennt werden, und es läßt sich deswegen nur die scheinbare Verdaulichkeit ermitteln.

Die Einführung der Isotopen als Tracer im intermediären Stoffwechsel ermöglicht auch die Erfassung endogener Kotbestandteile (33). Bisher ist es experimentell jedoch

nur für einige Substanzen gelungen, durch Anwendung der Tracer-Methode die endogene Ausscheidungsrate exakt zu ermitteln. So konnte KLEIBER (34) die endogene Phosphorausscheidung bei Milchkühen nach intravenöser Injektion von mit ^{32}P markiertem Natriumdiphosphat bestimmen.

Nach Abzug der endogenen Ausscheidungsrate von der scheinbaren Verdaulichkeit erhält man schließlich die wahre Verdaulichkeit, die KLEIBER als Absorbierbarkeit bezeichnet haben möchte, um die falsche Implikation einer wahren Verdaulichkeit als unlogisch zu vermeiden (32).

Die Bewertung der Futtermittel nach ihrem Gehalt an nutzbarer Energie ist eines der Hauptprobleme bei der Fütterung der landwirtschaftlichen Nutztiere. Die in einer Futterration enthaltene chemische Energie läßt sich relativ einfach im Bombenkalorimeter aus der bei der quantitativen Verbrennung freigesetzten Wärmemenge ermitteln. Diese Bruttoenergie des Futters kann jedoch vom Organismus nicht restlos genutzt werden, da sowohl im Kot energiereiche unverdauliche Futterbestandteile als auch im Harn noch brennbare Stoffwechselendprodukte ausgeschieden werden. Als verdauliche Energie wird der um den Brennwert des Kotes korrigierte Energiegehalt des Futters bezeichnet, während die umsetzbare Energie nach Abzug der Energieverluste in Kot und Harn von der Bruttoenergie erhalten wird. Beim Wiederkäuer treten außerdem noch Energieverluste durch das bei der Pansengärung entstehende Methangas auf (4, 27). RUBNER (58) beobachtete im unmittelbaren Anschluß an die Futter-

aufnahme eine länger andauernde Umsatzsteigerung gegenüber dem in nüchternem Zustand gemessenen Energieumsatz. Die bei Aufnahme von Kohlenhydraten, Protein und Fetten unterschiedlich vermehrte Wärmebildung im Tierkörper bezeichnet RUBNER als spezifisch-dynamischen Effekt der Nährstoffe. Nach KLEIBER (32) ist "kalorigene Wirkung" ein besser geeigneter Ausdruck für die Steigerung der tierischen Wärmebildung durch die Nahrungsaufnahme.

Nach Abzug der infolge der kalorigenen Wirkung der Nährstoffe auftretenden Energieverluste nach der Nahrungsaufnahme von der umsetzbaren Energie, ergibt sich die nach ARMSBY (3) benannte Nettoenergie eines Futtermittels. Nur sie steht an nutzbarer Energie dem Tier für Erhaltung und Leistung zur Verfügung. Zweifelsohne ist deshalb die Bewertung von Futterrationen nach ihrer Nettoenergie die exakteste Möglichkeit, den Futterwert genau wiederzugeben.

Vor über 50 Jahren begründete KELLNER das Nettoenergieberechnungsverfahren (27). Hierbei ging KELLNER von der Überlegung aus, daß die mit der Nahrung aufgenommene über den Erhaltungsumsatz hinausgehende Futterenergie beim ausgewachsenen Tier in Körperfett umgesetzt wird. Er bestimmte in Respirationsversuchen den energetischen Erhaltungsumsatz von ausgewachsenen Ochsen und die zur Deckung dieses Erhaltensbedarfes gerade ausreichende Menge einer Grundfutterration. Anschließend erhöhte er die Energiezufuhr durch Zulage eines Prüffutters zur Grundfutterration. Aus dem nach der Schlachtung der Tiere ermittelten Fettansatz berechnete KELLNER die Nettoenergie des zugelegten Prüffutters.

Für sein Nettoenergieberechnungsverfahren wählte KELLNER den durch verdauliche Stärke beim ausgewachsenen Ochsen erzielten Fettansatz als Bewertungsmaßstab für das Fettbildungsvermögen der reinen verdaulichen Nährstoffe:

1 kg eines verdaulichen Nährstoffes hat den Stärkewert 1, wenn dadurch beim ausgewachsenen Ochsen der gleiche Fettansatz erzielt werden kann, wie durch 1 kg verdauliche Stärke.

Somit läßt sich aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen (Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate) unter Berücksichtigung ihrer Stärkewert-Umrechnungsfaktoren die Nettoenergie eines Futtermittels bzw. einer Futtereinzelkomponente als Stärkewert ausdrücken. KELLNER mußte allerdings feststellen, daß bei Verfütterung von rohfaserhaltigen Futterrationen der Fettansatz an Ochsen stets geringer war, als aufgrund des Gehaltes an verdaulichen Nährstoffen in der Ration zu erwarten gewesen wäre. Er erklärte diesen Energieverlust zur Hälfte durch erhöhte Pansengärung, zur Hälfte durch vermehrte Kau- und Darmarbeit. Zur Korrektur der Nettoenergie derartiger Rationen multiplizierte KELLNER den Gesamtrohfasergehalt der Ration mit einem vom Rohfasergehalt abhängigen Faktor und subtrahierte das Produkt von der summierten Nettoenergie der verdaulichen Nährstoffe (Rohfaserabzug). Der Rohfaserabzug kann ersetzt werden durch Multiplikation der summierten Nettoenergie mit einem Faktor, den KELLNER als Wertigkeit bezeichnet (Verhältnis von "Nettostärkewert" zu "Brutto-

stärkewert" ohne Rohfaserabzug).

Mit dem Problem der Wertigkeit von Futterrationen haben sich später BLAXTER sowie NEHRING u. Mitarb. eingehender beschäftigt. Im Gegensatz zu KELLNER stellte BLAXTER (6,7) fest, daß die kalorogene Wirkung des Rauhfutters fast ausschließlich von der Pansengärung abhängt. BLAXTERs Berechnungen für die Nettoenergie verschiedener Futtermittel führten jedoch zu ähnlichen Ergebnissen wie die von KELLNER, NEHRING u. Mitarb. (47) sind der Auffassung, daß der Wertigkeitsbegriff für Futtermittel nach KELLNER unbegründet ist, lehnen jedoch den Rohfaserabzug prinzipiell nur bei Kraftfuttermitteln ab.

Für die Wiederkäuerfütterung in Deutschland ist das KELLNERSche Stärkeberechnungsverfahren bis heute die Grundlage geblieben; es hat aber den großen Nachteil, daß sich die Nettoenergie von Futtereinzelkomponenten bzw. Futtermischungen nur in langwierigen und arbeitsaufwendigen Respirationsversuchen bestimmen läßt. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, empfehlen deshalb NEHRING u. Mitarb. (47), die Nettoenergie von Futtermischungen aus dem Gehalt der verdaulichen Nährstoffe in der Ration zu berechnen. Sie stellen dazu als Ergebnis ihrer umfangreichen experimentellen Untersuchungen multiple Regressionsgleichungen für die Berechnung der Bruttoenergie, der umsetzbaren und verdaulichen Energie sowie der Nettoenergie auf.

Das Nettoenergieberechnungsverfahren hat bisher aufgrund fehlender experimenteller Unterlagen bei der Schweinefütterung keinen Eingang gefunden. Hier erfolgt die Futterbewertung nach Gesamtnährstoffen. Unter Gesamtnährstoffen versteht man die Summe der verdaulichen Nährstoffe in Gramm pro 1 kg Futtermischung (27). Dem höheren Brennwert von Fett wird Rechnung getragen, indem der Anteil des verdaulichen Rohfettes mit dem Faktor 2,3 multipliziert wird.

Die Höhe des Anteils an verdaulichen Nährstoffen macht den Nährwert eines Futtermittels aus, der nach MØLLGAARD (44) folgendermaßen definiert werden kann: Die Größe einer Lebensäußerung, die beim Umsatz einer bestimmten Nahrungsmenge maximal auftreten kann, steht in direkter Abhängigkeit zum Nährwert dieser Nahrungsmenge. KELLNER und BECKER (28) bezeichnen den Nährwert eines Futtermittels als Futterwert.

II. Verfahren zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Futterrationen

1. Der klassische Verdauungsversuch

Zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit einer Futterration wird im klassischen Verdauungsversuch die Differenz der in einem bestimmten Zeitraum aufgenommenen Futtermenge und der dazu korrespondierenden Kotmenge ermittelt. Hierzu wird das Versuchstier in einem Stoffwechselkäfig gehalten, der eine quantitative Aufnahme der angebotenen Futterration sowie das getrennte und verlustlose Sammeln von Harn und Kot gestattet. In einer Vorperiode wird das zuvor verabreichte Futter restlos aus dem Verdauungskanal verdrängt und das Versuchstier an die zu untersuchende Diät adaptiert. Gleichzeitig wird die bei ad-libitum-Fütterung aufgenommene Futtermenge festgestellt, die dann i.d.R. um 10 % gekürzt wird, um eine quantitative Aufnahme der Rationen bei den Mahlzeiten zu erreichen. Bei gleichmäßiger und konstanter Verabreichung der so festgestellten Futtermenge wird der zeitlichen Verschiebung zwischen Futteraufnahme und hiermit korrespondierender KOTAusscheidung Rechnung getragen. Die Dauer der Vorperiode richtet sich dabei nach der physiologischen Futterdurchgangszeit des jeweiligen Versuchstieres. So wird z. B. beim Schwein eine Vorperiode von 5 - 7 Tagen angesetzt (67). In der sich an die Vorperiode

anschließenden Hauptperiode (beim Schwein etwa 10 Tage) wird bei fortgesetzter gleichmäßiger Fütterung der Versuchsdiät der ausgeschiedene Kot quantitativ gesammelt. In repräsentativen Stichproben von Futter und Kot werden die Gehalte der Nährstoffe ermittelt (WEENDER-Analyse). Aus der Differenz der aufgenommenen und ausgeschiedenen Nährstoffmengen werden deren Verdauungskoeffizienten berechnet.

In diesen Ausnutzungsversuchen werden zuverlässige Resultate erzielt, wenn eine quantitative Futteraufnahme sowie das verlustlose Sammeln des Kotes gewährleistet sind.

Zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Futtereinzelkomponenten, denen der Charakter eines Alleinfuttermittels fehlt, müssen zwei aufeinanderfolgende Ausnutzungsversuche durchgeführt werden. Bei diesem Differenzverfahren wird im ersten Versuch die Verdaulichkeit einer ausgewogenen Grundfütterration festgestellt. Die zu untersuchende Einzelkomponente wird dann diesem Grundfutter in bekannter Menge zugelegt und die Gesamtverdaulichkeit der Mischung in einem zweiten Versuch ermittelt. Aus der Differenz läßt sich die partielle Verdaulichkeit der Einzelkomponente berechnen.

2. Das Indikatorverfahren

Die beim klassischen Ausnutzungsversuch notwendige und arbeitsaufwendige Feststellung der täglich aufgenommenen Futtermenge sowie das quantitative Sammeln des Kotes läßt sich umgehen, wenn der auf ihre Verdaulichkeit zu untersuchenden Versuchsdiät eine unverdauliche Indikatortsubstanz in bekannter Konzentration (c_F) eingemischt wird. Es genügt dann, aus dem Kot repräsentative Stichproben zu entnehmen und darin die Konzentration des Indikators (c_K) zu bestimmen.

Die Verdaulichkeit (D) der Versuchsdiät berechnet sich dann nach der Formel

$$D = 1 - \frac{c_F}{c_K} \quad \text{bzw. } D(\%) = \left(1 - \frac{c_F}{c_K}\right) \times 100;$$

Verschiedene Substanzen wurden auf ihre Brauchbarkeit als Indikatoren zur vereinfachten Verdaulichkeitsbestimmung von Futtermitteln untersucht (12,25,35,45,56,60). Lediglich das von EDIN (13) vorgeschlagene Chrom-III-oxid (Cr_2O_3) hat sich als unverdauliche Merksubstanz bewährt. Das Chromoxid-Indikatorverfahren ist heute allgemein verbreitet und wurde bisher an Mensch und verschiedenen Tierarten überprüft (9,11,20,23,42,50,51,53,57,61,62,66).

Verschiedene Verfahren werden in der Literatur zur quantitativen Bestimmung des Chromoxids in Futter- und Kotproben angegeben. In jedem Fall muß das in Wasser, Säuren und Lau-

gen unlösliche Chrom-III-oxid durch Oxydation in das wasserlösliche 6-wertige Chromat (Cr^{VI}) übergeführt werden. Nach Veraschung der organischen Substanz im Untersuchungsmaterial (trockene Veraschung bei 600°C bzw. nasse Veraschung mit oxydierenden Mineralsäuren) wird die Oxydation des 3-wertigen Chromions entweder in der alkalischen Schmelze (12,25,36,48,52,60) oder mit Hilfe von Perchlorsäure (8,14,15,21,30,43) erreicht. Die Bestimmung des Chromations erfolgt allgemein photometrisch bei 440 nm. Die nach der Chromoxidmethode ermittelten Verdauungskoeffizienten von Futterrationen stimmen im allgemeinen recht gut mit den nach der Kot-Sammel-methode erhaltenen Werten überein (11,23,61,62). Sie können jedoch davon abweichen, wenn die mit dem Futter verabreichten Cr_2O_3 -Mengen nicht quantitativ in den Faeces wiederaufgefunden werden (10,36,51).

3. Die Nylonbeutel-Technik

Die Möglichkeit, Futterproben in kleine Behälter fest eingeschlossen durch den Verdauungskanal eines Versuchstieres zu schicken und auf diese Art die Verdaulichkeit des Untersuchungsmaterials zu studieren, erkannte erstmals der französische Physiker und Zoologe René-Antoine Ferchault de REAUMUR (55). Diese Versuche werden in dem 1785 veröffentlichten Bericht des Abtes SPALLANZANI (63) "Versuche über das Verdauungs-Geschäfte des Menschen und

verschiedener Thier-Arten" angeführt, der die orientierenden Versuche REAUMURS in leicht modifizierter Form wiederholte. SPALLANZANI füllte grüne sowie getrocknete Gräser und Kräuter in kleine Messingröhrchen und umhüllte diese mit Leinwandsäckchen, um den Inhalt am Ausfallen zu hindern. Die fertigen Futterbehälter gab er Schafen, Rindern und Pferden über ein Schlundrohr peroral ein und konnte einige davon nach der Magen-Darmpassage unbeschädigt im Kot wieder auffinden. Den Grad der Verdauung prüfte SPALLANZANI anhand struktureller, geschmacklicher und geruchlicher Veränderungen des Untersuchungsmaterials. Bemerkenswert ist SPALLANZANIs damalige Erkenntnis, daß die Konfrontation unzerkauter Pflanzenteile mit den Verdauungssäften beim Wiederkäuer nicht physiologisch sein konnte. Er selbst zerkaute deshalb die Gräser- und Kräuterproben vor dem Einfüllen in die Messingröhrchen.

Erst 1941 griffen TRAUTMANN und ASHER (65) diese Methode wieder auf, um das Celluloseverdauungsvermögen von Schweinen zu untersuchen. Sie führten jedoch das in durchlöchernte Metallkapseln eingefüllte Untersuchungsmaterial (pflanzliche bzw. technisch hergestellte Cellulose) über künstlich angelegte Fisteln in den Blinddarm bzw. das Kolon der Versuchstiere ein.

Mit der Entwicklung der Kunststoffstoffe und der sich daraus ergebenden technischen Möglichkeit, engmaschige Kunststoff-

gewebe und -folien herzustellen, ist diese Methodik wieder in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses gerückt.

Inzwischen wurde die Nylonbeutel-Technik bei der Bestimmung der partialen Verdaulichkeit von Futtermischungen bzw. Futtereinzelkomponenten im Pansen bei Wiederkauern mit mehr oder weniger gutem Erfolg eingesetzt. Beim Studium der diesbezüglichen Literatur konnten jedoch nur wenige für unsere Versuche interessante Angaben in Bezug auf Herstellung von Futterbeuteln, das dazu verwendete Material sowie dessen Maschenweite gefunden werden.

LUSK u. Mitarb. (38) benutzten 5 x 10 cm große Futterbeutel aus Nylon-Fallschirmgewebe (Porengröße 6 - 11 μ m) und untersuchten an Pansenfistelkühen die Trockensubstanz-(TS)-Verdauungskoeffizienten pflanzlicher Cellulose im Pansen. Gegenüber den im klassischen Verdauungsversuch ermittelten Werten konnten sie keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Etwa gleich große Futterbeutel aus Nylongewebe verwendeten VAN KEULEN und HEINEMANN (29), um die TS-Verdaulichkeit verschiedener Grasarten zu untersuchen. Hierzu wurden an verschiedenfarbigen Plastikröden Futterbeutel mit dem feingemahlenen Untersuchungsmaterial über eine künstlich angelegte Fistel in den Pansen der Versuchstiere eingehängt. Bei gleichartig zusammengesetztem Probenmaterial stellten sie eine gute Reproduzierbarkeit der Verdauungswerte fest.

und beobachteten eine mit der Verweildauer der Futterbeutel im Pansen zunehmende Verdaulichkeit der Futter-TS.

NEATHERIE (46) füllte das Untersuchungsmaterial, verschiedene Einzelfuttermittel mit unterschiedlichem Rohfasergehalt, in etwa 5 - 15 cm große Futterbeutel aus Fallschirmgewebe. Bei Bullen, denen nacheinander Alfalfa-Heu bzw. Bermudagrass gefüttert wurde, konnte er bei Anwendung der Nylonbeutel-Technik eine Beeinflussung der TS-Verdaulichkeit der Beutelfüllung durch die Haltungsdiät feststellen.

Andere Autoren, deren Untersuchungen mit der Nylonbeutel-Technik auf gleichartige Fragestellung abzielten, machen keine näheren Angaben über Beschaffenheit und Herstellung der verwendeten Futterbehälter (1,2,16,22,37,41).

C) PROBLEMSTELLUNG EIGENER UNTERSUCHUNGEN

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, die zur Untersuchung der partialen Verdaulichkeit bei Pansenfisteltieren mit gutem Erfolg eingesetzte Nylonbeutel-Technik auf die Bestimmung der Gesamtverdaulichkeit von Mischfuttermischungen beim Schwein auszudehnen. Hierzu müssen folgende Probleme gelöst werden:

1. Es ist zu untersuchen, ob ausreichend große Futterbehälter den gesamten Magen-Darmkanal des Schweines wie die aufgenommene Nahrung in der physiologischen Durchgangszeit ungehindert passieren können.
2. Es ist ein Material zu finden, welches sich ohne Schwierigkeiten zu haltbaren Futterbehältern beliebiger Form und Größe verarbeiten läßt. Das Material selbst muß sich gegenüber dem tierischen Organismus inert verhalten und den mechanischen Einwirkungen bei der Tierkörperpassage standhalten. Damit die im Futterbehälter eingeschlossene Futterprobe bei der Magen-Darmpassage verdaut werden kann, muß die Behälterwand derart permeabel sein, daß durch die Poren der Austausch von Verdauungsenzymen und gelösten Futterbestandteilen ungestört vonstattengehen kann, ohne daß jedoch ungelöste Futterinhaltsstoffe von Chymus und Untersuchungsmaterial die Wandung des Behälters durchdringen können.

3. Lassen sich diese Probleme methodisch lösen, muß die Nylonbeutel-Technik auf ihre Brauchbarkeit zur Ermittlung zuverlässiger Verdauungskoeffizienten geprüft werden, indem mit diesem Verfahren M₁schfütterationen bekannter Verdaulichkeit untersucht werden.

C) EIGENE UNTERSUCHUNGEN

I. Versuche zur Anwendbarkeit der Nylonbeutel-Technik für Verdaulichkeitsbestimmungen am Schwein

1. Versuchstiere und ihre Haltung

Die Versuche wurden an jeweils drei bzw. vier kastrierten Ebern (DvL) durchgeführt, die einzeln in Stoffwechselkäfigen gehalten wurden. Die perorale Eingabe ausreichend großer Futterbehälter war bei Schweinen unter 25 kg Körpergewicht aufgrund der anatomischen Größenverhältnisse des Verdauungstraktes nicht möglich. Infolge der geringen Bewegungsfreiheit der Versuchstiere in den Stoffwechselkäfigen mußten mit zunehmendem Körpergewicht des öfteren Affektionen an Klauen und Gelenken beobachtet werden. Aus diesem Grund wurden die Versuchsschweine in der Regel bei einem Gewicht von 70 - 80 kg ausgetauscht.

Die Konstruktion der Stoffwechselkäfige (Abb.1) gewährleistete eine quantitative Futteraufnahme sowie bei männlichen Tieren das getrennte Sammeln von Harn und Kot. Die Bewegungsfreiheit der Schweine konnte weitgehend durch Variation der aus Eisenstäben bestehenden Käfigeinzelteile eingeengt werden. Die Tiere standen auf parallel angeordneten, mit PVC überzogenen Eisen-

stäben, zwischen denen der Harn über einen Trichter in das Sammelgefäß abfließen konnte. Der Kot fiel unmittelbar in eine herausnehmbare Aluminiumschale. Der Futtertrog an der Vorderseite des Käfigs bestand ebenfalls aus Aluminium und konnte herausgezogen werden.

Abb.1: Stoffwechselkäfig für Schweine nach FARRIES und OSLAGE (17)



Während der Vorversuche wurden die Versuchsschweine zweimal täglich (8.00 Uhr und 16.00 Uhr) mit einem handelsüblichen Schweinemastfertigfutter (Seite 42) ad libitum gefüttert. Die Rationen wurden mit Wasser dünnbreiig angeboten, um den Wasserbedarf der Tiere zu decken.

2. Herstellung von Futterbehältern

a) Material

Für Verdaulichkeitsuntersuchungen nach der Nylonbeutel-Technik konnten geeignete Futterbehälter in gebrauchsfertiger Form nicht bezogen werden und mußten deshalb in kleiner Stückzahl im Laboratorium selbst hergestellt werden. Hierzu boten sich vor allem thermoplastische permeable Kunststoffgewebe und -folien an, die sich relativ einfach mit Hilfe eines Schweißgerätes in der Hitze zu Futterbeuteln beliebiger Form und Größe verarbeiten lassen. In den vorliegenden Untersuchungen mußten zahlreiche im Handel angebotene Kunststoffgewebe auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft werden.

Ein erstes Kriterium bei der Beurteilung der Gewebe und Folien war ihre Beschaffenheit in Bezug auf Geschmeidigkeit und Reißfestigkeit. Weiterhin war bei der Auswahl der Materialien ihre einfache Verarbeitungsmöglichkeit mit dem Schweißgerät zu haltbaren Futterbeuteln von ausschlaggebender Bedeutung. Nachfolgende Gewebetypen ließen sich mit dem Schweißgerät nicht oder nur sehr schwer zu Futterbeuteln verarbeiten. Die Verschweißung des Materials gelang selbst bei hohen Schweißtemperaturen nur unvollständig; die Schweißnähte waren brüchig und nicht reißfest. Sie wurden deshalb

von weiteren Untersuchungen ausgeschlossen:

MICROWEB - Filterblättchen, Type WS

(Millipore Filter GmbH, Neu-Isenburg)

Gebrauchsfertige Celluloseester-Filterblättchen, die in sich mit einfaserigem Nylongewebe zur Verbesserung der mechanischen Handhabung verstärkt sind. Die Porenweite beträgt $3,0\text{ }\mu\text{m}$.

NYTAL - Gewebe, Type 1M

.(Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen, Schweiz)

Plansichter-Manschettentstoff, multifiles Nylongewebe mit einer Maschenweite von ca. $10\text{ }\mu\text{m}$.

Folien und Gewebe, die sich mit dem Schweißgerät zu haltbaren Futterbeuteln verarbeiten ließen, wurden im Laboratorium auf ihre Durchlässigkeit in Schüttelversuchen untersucht:

Aus dem Material wurden fünf Beutel mit den Abmessungen $25 \times 25\text{ mm}$ hergestellt, in die 500 mg - Chargen eines feingemahlenen Schweinemastfertigfutters (Seite 42) eingeschweißt wurden. Gleichzeitig erfolgte die Feststellung des Trockensubstanzgehaltes des lufttrockenen Futters. Die gekennzeichneten Beutel wurden zusammen mit $50,0\text{ ml}$ Aqua dest. einzeln in 100 ml -Zentrifugengläser verbracht und 48 Stunden lang bei einer konstanten Temperatur von 38°C (Wasserbad) in einer Schüttel-

apparatur belassen. Anschließend wurden die Beutel den Zentrifugengläsern entnommen und bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die aus den Beuteln mechanisch ausgeschwemmten Futterbestandteile wurden nach Zentrifugieren quantitativ gewonnen, bei 105° C getrocknet und ausgewogen. Der Gewichtsverlust des Beutelinhaltes sowie das durch Zentrifugieren erhaltene Sediment dienten zur Beurteilung für den Grad der Permeabilität des Kunststoffmaterials.

Bei den nachfolgend angeführten Geweben zeigten sich nach der Durchführung der Schüttelversuche stark streuende Gewichtsabnahmen der eingeschweißten Futterproben zwischen 12 und 38 %. Da dies zum größten Teil auf mechanisches Ausschwemmen ungelöster Futterbestandteile zurückzuführen war, eigneten sich auch diese Gewebearten nicht für unsere Untersuchungen:

MONODUR - Gewebe, Type 31; 35; 40; 45.

(Verein. Seidenwebereien AG, Krefeld)

Monofile Perlongewebe mit Maschenweiten von $31/\mu\text{m}$, $35/\mu\text{m}$, $40/\mu\text{m}$ und $45/\mu\text{m}$.

TREVIRA - Gewebe

(Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt-Hoechst)

Trevira-Schirmstoff ohne Angaben der Maschenweite.

DURALON - Filterblättchen, Type NC

(Millipore Filter GmbH, Neu-Isenburg)

Gebrauchsfertige Filterblättchen aus reinem Nylon mit einer Porenweite von 14,0/μm.

NYTAL - Gewebe, Type 2F/131 und 2F/186

(Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen, Schweiz)

Wenig geschmeidige multifile Nylongewebe mit einer Maschenweite von ca. 10/μm.

NYTAL - Gewebe, Type 45F

(Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen, Schweiz)

Multifiles Terylene-Gewebe mit einer Maschenweite von ca. 10/μm.

Von den verbliebenen Gewebearten ließen sich mit dem Schweißgerät ohne größere Schwierigkeiten haltbare Futterbeutel herstellen, aus denen in den Schüttelversuchen das eingeschweißte Schweinemastfertigfutter mechanisch nicht austreten konnte. Diese Gewebe wurden deshalb einer in-vivo-Prüfung an vier Versuchsschweinen unterzogen. Zu diesem Zweck wurden von jeder Folie Beutel hergestellt, in die jeweils 500 mg - Chargen des Schweinemastfertigfutters feingemahlen eingeschweißt wurden. Je Versuchsschwein wurden fünf gekennzeichnete

Beutel peroral eingegeben und nach der Tierkörperpassage im Kot aufgesucht. Die hierzu entwickelte Technik ist auf Seite 45 näher beschrieben.

In diesen Versuchen wurde geprüft, ob die Futterbeutel den mechanischen Einwirkungen bei der Passage durch den Magen-Darmkanal der Tiere standhielten.

Außerdem wurde die während der Tierkörperpassage eingetretene Gewichtsabnahme des Beutelinhaltes (bez. auf TS) festgestellt. Diese Gewichtsabnahme (%) sollte der vom Hersteller für das verwendete Schweinemastfütterfutter angegebenen Trockensubstanzverdaulichkeit von etwa 80 % entsprechen, wenn einerseits durch die Beutelwandung der Austausch von Verdauungsenzymen und gelösten Futterbestandteilen ungestört vor sich gehen konnte, andererseits aber der Austritt von ungelösten Futterbestandteilen sowie das Eindringen von Chymus unterblieben.

PP-Folie

(Porous Plastics Limited, Dagenham Docks, Essex, England)

Gummiartige PVC-Folie mit einer ungefähren Porenweite von 2 - 4 μ m. Den mechanischen Einwirkungen bei der Tierkörperpassage hielten die aus der PP-Folie hergestellten Futterbeutel nur bedingt stand. Etwa ein Drittel der im Kot wiedergefundenen Beutel

war an den Schweißnähten aufgebrochen oder die Folie selbst war eingerissen. Die Verdaulichkeit der Futtertrockensubstanz des eingeschweißten Schweinemastfertigfutters errechnete sich für die unbeschädigt gebliebenen Beutel aufgrund der Gewichtsabnahme mit 11,5 %. Dieser von der tatsächlichen Trockensubstanzverdaulichkeit erheblich abweichende Wert konnte nur durch mangelhaften Austausch von Verdauungsenzymen und gelösten Futterbestandteilen durch die Beutelwand erklärt werden.

DURALON - Filterblättchen, Type NR

(Millipore Filter GmbH, Neu-Isenburg)

Gebrauchsfertige Filterblättchen aus reinem Nylon mit einer Porenweite von 1,0 μ m.

Sämtliche mit dem K₀t ausgeschiedenen Beutel waren aufgerissen und konnten nicht ausgewertet werden.

NYTAL - Gewebe, Type 3K und 6F

(Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen, Schweiz)

Wenig geschmeidiges multifiles Nylongewebe, Maschenweite ca. 10 μ m. Während der Passage durch den Magen-Darmkanal der Versuchsschweine brachen die Schweißnähte der aus diesen beiden Geweben hergestellten Beutel auf, eine Auswertung konnte daher nicht vorgenommen werden.

NYTAL - Gewebe, Type 23/12

(Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen,
Schweiz)

Sehr robustes monofiles Nylongewebe mit einer
Maschenweite von durchschnittlich 12 μ m.

Die aus diesem Material hergestellten Futterbeutel
waren sehr strapazierfähig und überstanden ohne Aus-
nahme unbeschädigt die Tierkörperpassage. Die Ge-
wichtsverluste der einzelnen Beutel streuten jedoch
in weiten Grenzen (17-69 %). Demzufolge wurde an-
genommen, daß aufgrund der verhältnismäßig großen
Maschenweite nicht nur ein durch Verdauungsvorgänge
bedingter Stoffaustausch stattfand, sondern daß so-
wohl Chymusanteile in die Beutel eindringen als
auch nicht gelöste Partikel des Beutelinhaltes aus-
treten konnten.

NYTAL - Gewebe, Type 5 μ Spezial

(Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen,
Schweiz)

Ebenfalls sehr robustes monofiles Nylongewebe, je-
doch mit definierter Maschenweite von 5,0 μ m.

Die aus 5 μ -Spezial-Gewebe angefertigten Nylonbeutel
wurden im Verdauungstrakt durch mechanische Einwir-
kungen nicht beschädigt. Im Gegensatz zu allen ande-
ren im Tierversuch geprüften Geweben stimmten bei

NYTAL 5,0 Spezial die aus der Gewichts-differenz des trockenen Beutelinhaltes vor und nach der Tierpassage errechnete Trockensubstanzverdaulichkeit (%) gut mit dem vom Hersteller angegebenen Verdauungskoeffizienten überein, der in später durchgeführten eigenen Verdaulichkeitsversuchen (Seite 55) mit 79,3 % ermittelt wurde:

Beutel 1: 79,52 %	
Beutel 2: 79,94 %	
Beutel 3: 78,34 %	$\bar{x} = 78,51 \%$
Beutel 4: 77,72 %	$s = \pm 1,14$
Beutel 5: 78,66 %	
Beutel 6: 76,87 %	

wobei $\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen ist.

Von allen geprüften Materialien erschien somit nur das monofile Nylongewebe NYTAL 5,0 Spezial für unsere Untersuchungen geeignet. Das Gewebe war geschmeidig und dennoch äußerst strapazierfähig. Es ließ sich ausgezeichnet mit dem Schweißgerät zu Futterbeuteln verarbeiten und die Schweißnähte waren absolut reißfest. Das Material selbst war unverdaulich und wurde vom Organismus der Versuchstiere reaktionslos vertragen. Die Ergebnisse des Tierversuches deuteten daraufhin, daß durch die 5,0 mm großen Maschen des Materials ein verdauungsphysiologischer Stoffaustausch stattfinden konnte und eine mechanische Passage von Chymusteilen und unge-

lösten Beutelinhaltsstoffen verhindert wurde. Das monofile Nylongewebe NYTAL 5/u Spezial wurde deshalb ausschließlich für die sich anschließenden vergleichenden Verdaulichkeitsuntersuchungen herangezogen.

b) Form, Größe und Füllungsgrad

Eine ungehinderte Passage von Futterbeuteln durch den Magen-Darmtrakt der Versuchsschweine war nur zu erwarten, wenn die Abmessungen der Beutel den anatomischen Größenverhältnissen der Versuchstiere angepaßt waren. Der kleinste Öffnungsquerschnitt des Passageweges, das Ostium pylori, bestimmte dabei die maximale Größe der Nylonbeutel. Die Mindestgröße der Beutel wurde aber durch die analytische Nachweisgrenze der an dem unverdaulichen Beutelinhalt durchzuführenden Untersuchungen begrenzt.

Von der Verwendung flacher quadratischer Futterbeutel ("Teefix-Form", 25 x 25 mm) mußte nach einigen Versuchen Abstand genommen werden. Sie ließen sich zwar einfach mit dem Schweißgerät herstellen, doch bestanden bei der peroralen Eingabe größere technische Schwierigkeiten. Besonders schlecht war die Wiederauffindungsrate dieser Beutel. Nur etwa durchschnittlich 47 % der eingegebenen Beutel konnten über mehrere Tage verstreut

im Kot aufgefunden werden. Rechteckige Beutel ("Säckchen-Form", 22 x 10 mm) konnten dagegen über eine Magen-Schlundsonde unmittelbar in den Magen eingegeben werden; die Wiederauffindungsrate verbesserte sich vergleichsweise zu den "Teefix"-Beuteln jedoch nur geringgradig. Durch den Einsatz tetraederförmiger Nylonbeutel (30 x 10 x 10 mm) konnte schließlich nach mehreren Versuchsreihen die Wiederauffindungsrate auf über 80 % gesteigert werden.

Abb. 2: Verschiedene Formen von Futterbeuteln



Teefix-Form (1); Säckchen-Form (2); Tetraeder-Form (3);

Bei den Schüttelversuchen zur Beurteilung der Permeabilität der verschiedenen Beutelmaterialien hatte sich infolge Flüssigkeitsaufnahme eine starke Quellung des

lufttrocken eingeschweißten Untersuchungsmaterials gezeigt. Es war zu befürchten, daß in zu prall gefüllten Beuteln die zum Ablauf der Verdauungsvorgänge notwendige Durchmischung des Beutelinhaltes während der Magen-Darmpassage nicht stattfinden konnte. Die Beutel wurden deshalb nur bis zu etwa $2/3$ ihres maximalen Fassungsvermögens mit dem Untersuchungsmaterial gefüllt.

3. Eingabe der Futterbeutel und ihre Rückgewinnung

Die Nylonbeutel konnten nicht über das Futter verabreicht werden, da sie durch den Kauvorgang beschädigt worden wären. Pilleneingeber, wie sie in der tierärztlichen Praxis benützt werden, waren in passender Größe im Handel nicht erhältlich. Die Eingabe der Beutel erfolgte deshalb über eine Magen-Schlundsonde (PVC-Schlauch, lichte Weite 12,0 mm, Länge 80 cm). Zum besseren Abgleiten in der Sonde wurden die fertigen Beutel einzeln in magenlösliche Gelatinekapseln ¹⁾ gesteckt und mit wenig Wasser unmittelbar in den Magen gespült. Die hierzu anfangs verwendete Klistierspritze wurde im

1) Magenlösliche Gelatinekapseln Größe Nr. 5, Wirtschaftsgenossenschaft deutscher Tierärzte, Hannover

Laufe der Versuche durch eine mittels Schlauchverbindung an die Wasserleitung angeschlossene Handhebel-Düse ¹⁾ ersetzt. Anschließend wurde durch die Sonde Luft geblasen, um beim Herausziehen der Sonde eine Aspiration von Wasser zu vermeiden. Bei der Eingabe der Beutel wurden die Versuchsschweine im Stoffwechselläufig mit Hilfe einer Oberkieferschlinge ²⁾ fixiert und die Schlundsonde unter Verwendung eines durchbohrten Maulkeiles ³⁾ eingeführt. Die Beutel wurden nach der Tierkörperpassage wiedergewonnen, indem der quantitativ gesammelte Kot in einem engmaschigen Sieb mit Wasser durchgespült wurde.

1) Aqua-gun ®, Fa. Suckfüll, München

2) Stahldrahtschlinge der Fa. H. Hauptner, Hannover

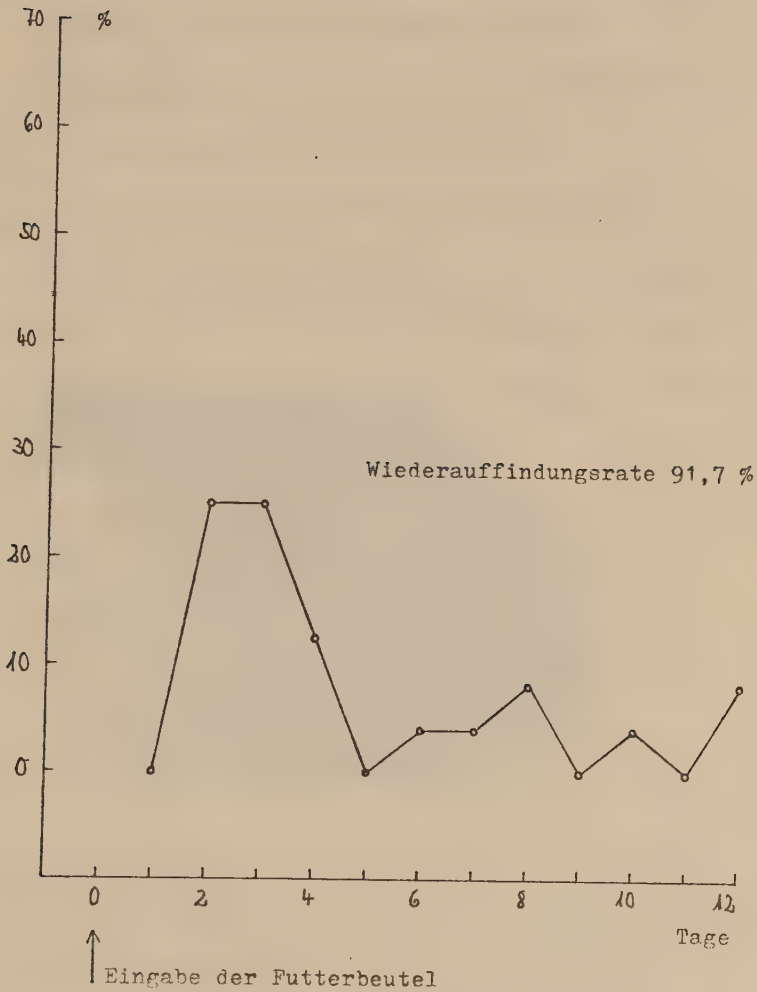
3) Maulkeil für Schweine der Fa. H. Hauptner, Hannover

4. Untersuchungen zur Verbesserung der Wiederauffindungsrate

Die Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel im Kot war in den ersten Versuchen trotz mehrfacher Veränderung der Beutelform nicht befriedigend. Auch die von uns für optimal befundenen tetraederförmigen Beutel wurden nach der Applikation nur verzögert ausgeschieden. Insgesamt konnten im Verlauf von etwa zwei Wochen 91,7 % der eingegebenen Beutel im Kot wiedergefunden werden. Mehr als die Hälfte der Beutel wurden bereits zwischen dem zweiten und fünften Tag nach Applikation wieder abgegeben. Der zeitliche Verlauf der Beutelausscheidung in diesen ersten Versuchen ist in Abb. 3 dargestellt.

Bei vereinzelten Versuchsschweinen mußte festgestellt werden, daß diese bereits nach der ersten Beuteleingabe oder erst im Verlauf von weiteren Applikationen keine Beutel mit dem Kot ausschieden. Versuche, bei diesen "Versagertieren" die Passage der Beutel durch Einsatz pharmakologischer Mittel (Spasmolytica, Sympatcololytica, Laxantia) zu erzwingen, schlugen fehl. Diese Versuchstiere boten sich an, die Ursache einer verzögerten bzw. verweigerten Ausscheidung von Futterbeuteln zu studieren:

Abb.3: Zeitlicher Verlauf der Ausscheidungsrate der Futterbeutel bei zweimaliger täglicher Fütterung der Versuchsschweine

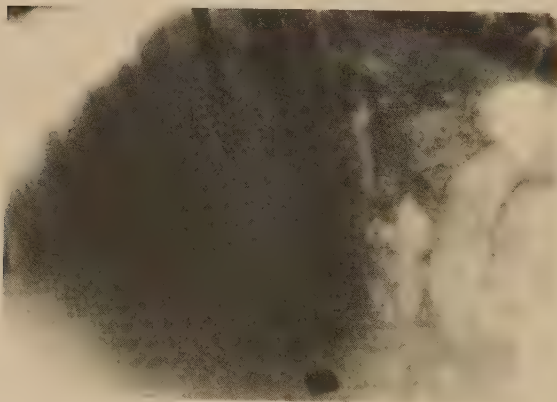


Abszisse: Versuchstage nach Eingabe der Futterbeutel

Ordinate: Ausscheidungsrate der Beutel in % der eingegebenen Beutelszahl (= 100 %)

a) Zwei Versagertieren wurden je drei mit Lametta gefüllte Nylonbeutel eingegeben. Sofort nach der Eingabe wurden beide Versuchstiere durchleuchtet, wobei die Beutel deutlich im Bereich der großen Magenkurvatur liegend ausgemacht werden konnten (Abb. 4). Bei den über zwei Wochen täglich fortgesetzten Röntgenkontrollen waren Lageveränderungen der Beutel in dieser Zeit nicht zu beobachten.

Abb. 4: Durch Röntgenaufnahme lokalisierte Lage von mit Lametta gefüllten Nylonbeuteln im Magen eines Versuchsschweines



b) Bei der Schlachtung von weiteren Versagertieren bestätigte sich der durch die röntgenologische Untersuchung gewonnene Befund. Alle nicht wiederausgeschiedenen Beutel wurden im Magenbrei gefunden.

Pathologisch-anatomische Veränderungen der Magen-Darmschleimhaut, hervorgerufen durch eine mechanische Reizung durch die Beutel, waren bei den geschlachteten Tieren makroskopisch nicht zu erkennen. Diese Befunde bewiesen eindeutig, daß die nicht wieder abgegebenen Beutel im Magen verblieben. Die im Verlauf von weiteren Versuchen auftretenden Versagertiere wurden daher ausgewechselt.

In den nächsten Versuchsreihen wurde geprüft, ob der Transport der Beutel günstig beeinflußt werden konnte, wenn die Versuchstiere nicht wie üblich zweimal täglich (8.00 Uhr und 16.00 Uhr) gefüttert wurden. Möglicherweise ließ sich dann die Wiederauffindungsrate dahingehend verbessern, daß die Mehrzahl der eingegebenen Beutel den Magen-Darmkanal in einem der physiologischen Durchgangszeiten des Futters beim Schwein entsprechenden Zeitraum passierte.

Fütterungstechnik I (Intervallfütterung)

Am ersten Versuchstag erfolgte die Fütterung der Schweine um 8.00 Uhr, eine Stunde später wurden die Beutel eingegeben. Am Abend des gleichen Tages sowie am Morgen des zweiten Versuchstages wurden die Tiere weder gefüttert noch getränkt. Am Abend des zweiten Versuchstages wurde einmalig die doppelte Menge der Futterration, bei den sich anschließenden Mahlzeiten der nächsten Tage die einfache Menge gereicht.

Das Ziel dieser Fütterungstechnik war, durch den zweimaligen Futterentzug eine weitgehende Entleerung des Magens zu erreichen sowie Hungerkontraktionen der Magen-

muskulator zu provozieren. Außerdem sollte durch die Aufnahme der doppelten Futterration nach dem Hungern eine verstärkte peristaltische Entleerung des Magens in das Duodenum erzielt werden.

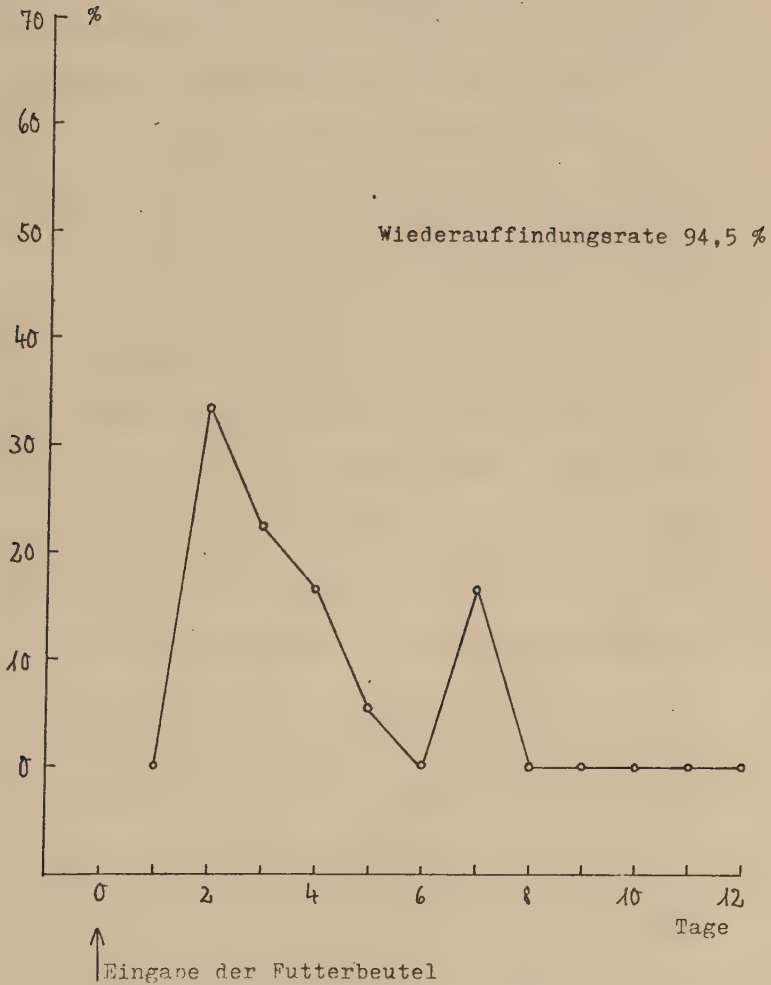
Bei Anwendung der beschriebenen Intervallfütterung verbesserte sich die Wiederauffindungsrate auf 77,8 % in den ersten drei Tagen nach der Eingabe. Zur Bestätigung des günstigen Einflusses der neuen Fütterungstechnik auf die Beutelpassage wurden die Tiere am fünften Versuchstag einer nochmaligen Intervallfütterung unterzogen, um die noch fehlenden Nylonbeutel zur Ausscheidung zu bringen. Am siebten Tag erfolgte daraufhin die Wiedergabe von weiteren 16,7 % der Beutel. Auf diese Weise wurden durchschnittlich 94,5 % der Beutel wiedergefunden. Als Ergebnis dieser Versuchsreihe wird in Abb. 5 der zeitliche Verlauf der Ausscheidungsrate der Futterbeutel bei Anwendung der Fütterungstechnik I (Intervallfütterung) angegeben.

Dieses Ergebnis konnte in weiteren Versuchen mit einer geringfügig geänderten Fütterungstechnik nochmals verbessert werden:

Fütterungstechnik II

Die Nylonbeutel wurden am Morgen (8.00 Uhr) des ersten Versuchstages den Schweinen eingegeben, die an diesem Tag weder gefüttert noch getränkt wurden. Am darauf-

Abb.5: Zeitlicher Verlauf der Ausscheidungsrate der Futterbeutel bei Intervallfütterung (Fütterungstechnik I)



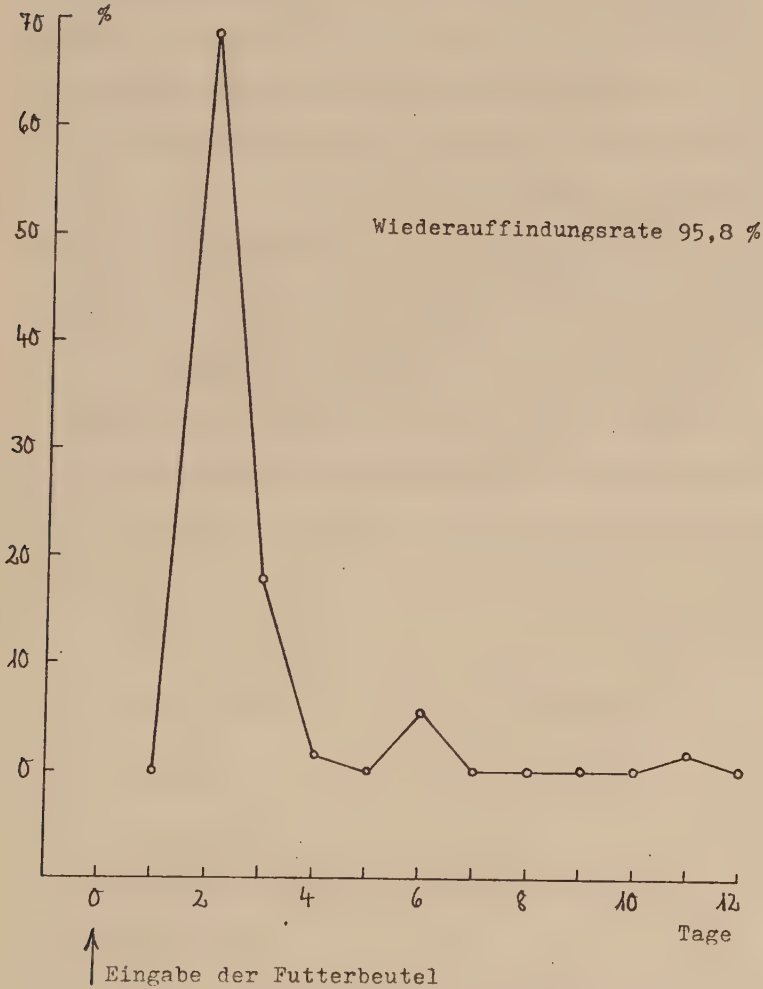
Abszisse: Versuchstage nach Eingabe der Futterbeutel
Ordinate: Ausscheidungsrate der Beutel in % der eingegebenen Beutelzahl (= 100 %)

folgenden Morgen wurde einmalig die doppelte Menge der Futterration, bei den sich anschließenden Mahlzeiten wieder die einfache Menge gereicht. 24 Stunden nach Applikation wurden bereits 69,4 % der Beutel im Kot gefunden, nach 72 Stunden hatten die Schweine 87,5 % wieder abgegeben. Nachdem auch in diesen Versuchen am fünften Tag nach Applikation die Intervallfütterung wiederholt wurde, belief sich die Wiederauffindungsrate insgesamt auf 95,8 % (Abb. 6).

Alle weiteren Versuche, in denen die beschriebene Intervallfütterung selbst bzw. der Zeitpunkt der Beutelapplikation gegenüber dem Beginn der Intervallfütterung verändert wurden, erbrachten nur eine Verschlechterung der Ergebnisse. Deshalb erschien allein die Anwendung der Fütterungstechnik II erfolgversprechend und wurde bei den vergleichenden Untersuchungen der Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit eingesetzt.

Um bei der Nylonbeutel-Technik nach der Tierkörperpassage Untersuchungsmaterial in größerer Menge zu erhalten, wurden mehrmals bis zu 40 tetraederförmige Futterbeutel pro Versuchstier auf einmal verabreicht. Die Wiederauffindungsrate der Beutel in diesen Versuchen lag jedoch selbst bei Anwendung der Intervallfütterung, auch wenn sie mehrmals in fünftägigem Abstand wiederholt wurde, unter 35 %. Auch war kein

Abb.6: Zeitlicher Verlauf der Ausscheidungsrate der Futterbeutel bei Intervallfütterung (Fütterungstechnik II)



Abszisse: Versuchstage nach Eingabe der Futterbeutel

Ordinate: Ausscheidungsrate der Beutel in % der eingegebenen Beutelzahl (= 100 %)

zeitlich eng begrenztes Ausscheidungsmaximum der Beutel zu beobachten, sondern die Beutelwiedergabe erfolgte in mehreren Schüben im Verlauf von 2 - 3 Wochen. Besonders auffallend war, daß sich ein Großteil der Versuchsschweine zu Versagertieren entwickelte, wenn mehr als 5 - 6 Futterbeutel pro Tier auf einmal eingegeben wurden.

Die in den langwierigen und oft mühevollen Vorversuchen gewonnenen Erkenntnisse führten schließlich zu der auf Seite 45 beschriebenen Methodik, deren Brauchbarkeit in einem ersten Schritt durch vergleichende Verdaulichkeitsbestimmungen der Futter-Trockensubstanz unterschiedlicher Mischfuttermischungen geprüft werden sollte.

II. Vergleichende Untersuchungen der Trockensubstanz-Verdaulichkeit von Mischfuttermischungen nach der Nylonbeutel-Technik und der Chromoxid-Indikatormethode

Mit Hilfe der entwickelten Nylonbeutel-Technik (NBT) wurden die TS-Verdauungskoeffizienten von drei unterschiedlich verdaulichen Versuchsdiäten an jeweils vier, einzeln in Stoffwechselkäfigen (Seite 18) gehaltenen Versuchsschweinen ermittelt. Dazu wurde ein handelsübliches Schweinemastfertigfutter durch Zulage von 0 % (Versuchsdiät I), 17,84 % (Versuchsdiät II) und 30,72 % (Versuchsdiät III) verdauungsinerter Buchenholz-Cellulose fortschreitend verdünnt (Seite 43).

Um die Zuverlässigkeit der mit der NBT erhaltenen Verdaulichkeitswerte überprüfen zu können, wurde die TS-Verdaulichkeit der einzelnen Versuchsdiäten an denselben Versuchsschweinen auch nach der Chromoxid-Indikatormethode bestimmt. Hierzu wurden in die Versuchsdiäten I, II und III jeweils 0,5 % Chromoxid homogen eingemischt.

1. Zusammensetzung der Versuchsdiäten:

Versuchsdiät I

Schweinemastfertigfutter I ¹⁾, unverdünnt.

Versuchsdiät II

Schweinemastfertigfutter I ¹⁾, verdünnt mit 17,84 % Cellulose ³⁾ (bez. auf TS).

Versuchsdiät III

Schweinemastfertigfutter I ¹⁾, verdünnt mit 30,72 %
Cellulose ³⁾ (bez. auf TS).

1) Schweinemastfertigfutter I für Anfangsmast:

(Feldmochinger Kraftfutterwerk Dr. Zentz & Co. Nachf.)

Zusammensetzung in % (Herstellerangabe):

20,0	Mais geschrotet
18,0	Weizen geschrotet
10,0	Gerste geschrotet
7,25	Sojaschrot extr.
15,0	Eiweißkonzentrat bestehend aus
	40,0 % Fischmehl
	39,7 % Sojaschrot extr.
	10,0 % Tiermehl
	5,0 % Luzerne/Grasgrünmehl
	5,0 % Fischpreßsaft
	0,3 % Vitamin B - Konzentrat ²⁾
7,0	Futterzucker
7,0	Weizenbollmehl mit 0,5 % Vitaminvormischung ²⁾
6,0	Maiskleberfutter
5,5	Tapiokamehl
2,0	Melasse
2,0	Mineralstoffmischung IIa für Schweine
0,25	Aurofac 2A (= 20 mg Aureomycin/kg der Endmischung)

2) Vitamingehalt/kg Mischfutter (Herstellerangabe):

Vitamin A	10 000 IE
Vitamin D ₃	2 000 IE
Vitamin E	10,0 mg
Vitamin B ₁	1,0 mg
Vitamin B ₂	2,4 mg
Vitamin B ₆	0,5 mg
Vitamin B ₁₂	10,0 mcg
Ca-Pantothenat	4,0 mg
Nicotinsäure	6,0 mg
Cholinchlorid	25,0 mg

Analytisch ermittelter Rohnährstoffgehalt in %:

Rohprotein	20,9
Rohfett	3,9
Rohfaser	4,5
Rohasche	6,7
Rohwasser	11,7
N-freie Extr.	52,3

3) Pulverförmige Cellulose (Buchenholzcellulose):

Type 402-2b;

Gehalt an Alpha-Cellulose: 89 - 90 %;

Durchschnitts-Polymerisationsgrad nach JAYME-WELLM:

620 - 680;

(Hersteller: MIKRO-Technik GmbH, Miltenberg/Main)

2. Durchführung der Verdauungsversuche:

In jedem Verdauungsversuch wurden die Versuchsschweine in einer siebentägigen Vorperiode an die jeweilige Versuchsdiet adaptiert. Dabei wurde der ad-libitum-Verzehr individuell gemessen und dann um 10 % gekürzt, um eine konstante und quantitative Aufnahme der Rationen bei der zweimaligen Fütterung pro Tag zu erzielen. Um ein Ausschwemmen des Chromoxids aus der Diet zu vermeiden, wurden bei den Mahlzeiten die Rationen mit wenig Wasser angeboten. Nach beendeter Futteraufnahme wurden die Tiere getränkt.

Im Anschluß an die Vorperiode wurde von jedem Versuchstier an zwei aufeinanderfolgenden Tagen der 24-h-Kot getrennt gesammelt, bei 105° C über 12 Stunden getrocknet und anschließend in einer Messermühle homogenisiert. In davon entnommenen repräsentativen Stichproben wurde der Chromoxidgehalt analytisch bestimmt.

Vom Tag nach Entnahme der letzten Kotproben an erfolgte die Bestimmung der TS-Verdaulichkeit der Versuchsdiet mit Hilfe der Nylonbeutel-Technik. Hierbei wurde die folgende im Verlauf der zahlreichen Vorversuche als brauchbar befundene Methodik angewandt.

a) Bestimmung der TS-Verdaulichkeit nach der Nylon-
beutel-Technik

Mit Hilfe eines Schweißgerätes zum Verschweißen thermoplastischer Kunststoff-Folien ¹⁾ wurden aus dem monofilen Nylongewebe NYTAL-5/u-Spezial ²⁾ Futterbeutel von tetraederähnlicher Form mit den Abmessungen 30 x 10 x 10 mm hergestellt. Die leeren Nylonbeutel wurden mit einer Pinzette gewendet, um einer Reizung der Magen-Darmschleimhaut der Versuchstiere durch die scharfkantigen Schweißnähte vorzubeugen. Die einzelnen Beutel wurden mit schwarzer Wäschetusche durch Ziffern gekennzeichnet und bis zur weiteren Verwendung im Exsikkator aufbewahrt.

Die Nylonbeutel wurden mit 500 mg - Chargen des in einer Messermühle feingemahlenden (2 min) und lufttrockenen Untersuchungsmaterials maximal bis zu 2/3 ihres maximalen Fassungsvermögens gefüllt. Gleichzeitig wurden von dem Untersuchungsmaterial Proben zur Trockensubstanzbestimmung entnommen. Die nach dem Füllen der Beutel gesetzte äußere Schweißnaht wurde mit einer Schere weitgehend abgerundet. Die fertigen Futterbeutel wurden einzeln in magenlösliche Gelatinekapseln gesteckt.

1) Schweißgerät Type 69 - Fa. Gottlieb Wiedmann KG,
Maschinenfabrik, Fellbach/Stuttgart

2) Schweiz. Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen, Schweiz

Jedem Versuchstier wurden i.d.R. 4 - 5 Futterbeutel über eine Magen-Schlundsonde (PVC-Schlauch) mit wenig Wasser direkt in den Magen gespült. Bei der Eingabe der Beutel wurden die Tiere im Stoffwechselkäfig mit einer Oberkieferschlinge fixiert und die Sonde mit Hilfe eines durchbohrten Maulkeiles bis in den Magen eingeführt.

Während der jeweils 3 Tage dauernden Magen-Darmpassage mußten die Schweine abweichend von der üblichen 2maligen täglichen Fütterung gefüttert werden, um eine befriedigende Wiederauffindungsrate der Beutel im Kot zu erreichen (Intervallfütterung):

- 1. Versuchstag: 8 Uhr - keine Fütterung,
Eingabe der Beutel;
16 Uhr - keine Fütterung;
- 2. Versuchstag: 8 Uhr - doppelte Rationsmenge;
16 Uhr - einfache Rationsmenge;
- 3. Versuchstag: 8 Uhr - einfache Rationsmenge,
Aufsuchen der Beutel im Kot;
16 Uhr - einfache Rationsmenge,
Aufsuchen der Beutel im Kot;

Die im Verlaufe des 3. Tages nach der Eingabe ausgeschiedenen Nylonbeutel wurden aus dem quantitativ gesammelten Kot durch Ausschwemmen mit Wasser gewonnen, von anhaftenden Kotresten gereinigt und 12 Stunden lang

im Trockenschrank bei 105° C getrocknet.

Die prozentuale Verdaulichkeit (D %) der Futter-TS in den Nylonbeuteln wurde aus der Gewichtsabnahme der Trockensubstanz des Beutelinhaltes während der Tierkörperpassage berechnet. Aufgrund der Unverdaulichkeit des Nylongewebes mußte dabei das Gewicht der Beutelhülle nicht berücksichtigt werden:

$$D \%_{TS} = \frac{\text{Gewichtsabnahme d. Beutelinhalts}}{\text{Beuteleinwaage}} \times 100$$

b) Bestimmung der TS-Verdaulichkeit nach der Chromoxidmethode

Zur Bestimmung der TS-Verdaulichkeit nach dem Indikator-Verfahren wurden 0,5 % Chromoxid (Cr_2O_3 , 99%ig) in die Versuchsdiäten eingemischt. Um eine homogene Feinverteilung des Chromoxids in der Versuchsdiät zu erreichen, wurde in einer kleinen Mischtrommel ein aliquoter Teil der Diät mit der benötigten Cr_2O_3 -Menge angereichert. Diese chromoxidhaltige Vormischung wurde in einem zweiten Mischgang mit dem chromoxidfreien Hauptanteil der Versuchsdiät wiedervereint.

Zur späteren Berechnung der Verdaulichkeit wurde in repräsentativen Stichproben der tatsächliche Cr_2O_3 -Gehalt der Diät analytisch ermittelt. Vor dem Einmischen des

Indikatoren wurden von den jeweiligen Versuchsdiäten etwa 500 g entnommen und zum Füllen der Nylonbeutel aufbewahrt.

Der Chromoxidgehalt in den Futter- und Kotproben wurde nach Angaben von KIMURA und MILLER (30) ermittelt:

Reagentien (Merck):

Salpetersäure rauchend, 100 %ig, p.A.;

Perchlorsäure, etwa 70%ig, p.A.;

Natriummolybdat p. A. ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$);

Chrom-III-oxid, 99 %ig, wasserfrei;

Durchführung:

Etwa 500 mg der lufttrockenen feingemahlten Analysenprobe werden zusammen mit etwa 5 mg Na-Molybdat und 15 ml konz. HNO_3 in einem 100 ml-KJELDAHL-Kolben auf einem Mikrobrenner mit kleiner Flamme mindestens 10 Minuten lang verascht. Anschließend wird die erkaltete Probe vorsichtig mit 10 ml 70 %iger Perchlorsäure versetzt und auf starker Flamme erhitzt. Nach 10 - 15 Minuten ist die Oxydation des Chrom-III-oxids zum 6-wertigen Chromat an dem Farbumschlag von grün nach orange zu erkennen. Die Probe wird noch 2 - 3 Minuten erhitzt, dann abgekühlt und mit 10 - 15 ml Aqua dest. quantitativ in ein 100 ml-Zentrifugenglas überführt. Der sich abscheidende Niederschlag (Silikate) wird 10 Minuten lang

bei 3 500 U/min abzentrifugiert. Der klare Überstand wird in einen 100 ml-Meßkolben abdekantiert, der mit Aqua dest. bis zur Marke aufgefüllt wird. Der Chromat-
gehalt der Meßlösung wird in einer Glasküvette ($d = 10 \text{ mm}$) gegen Aqua dest. bei 440 nm photometrisch bestimmt. Aus dem gemessenen Extinktionswert wird mit Hilfe einer Eichkurve der Cr_2O_3 -Gehalt der aufgeschlossenen Analysenprobe berechnet.

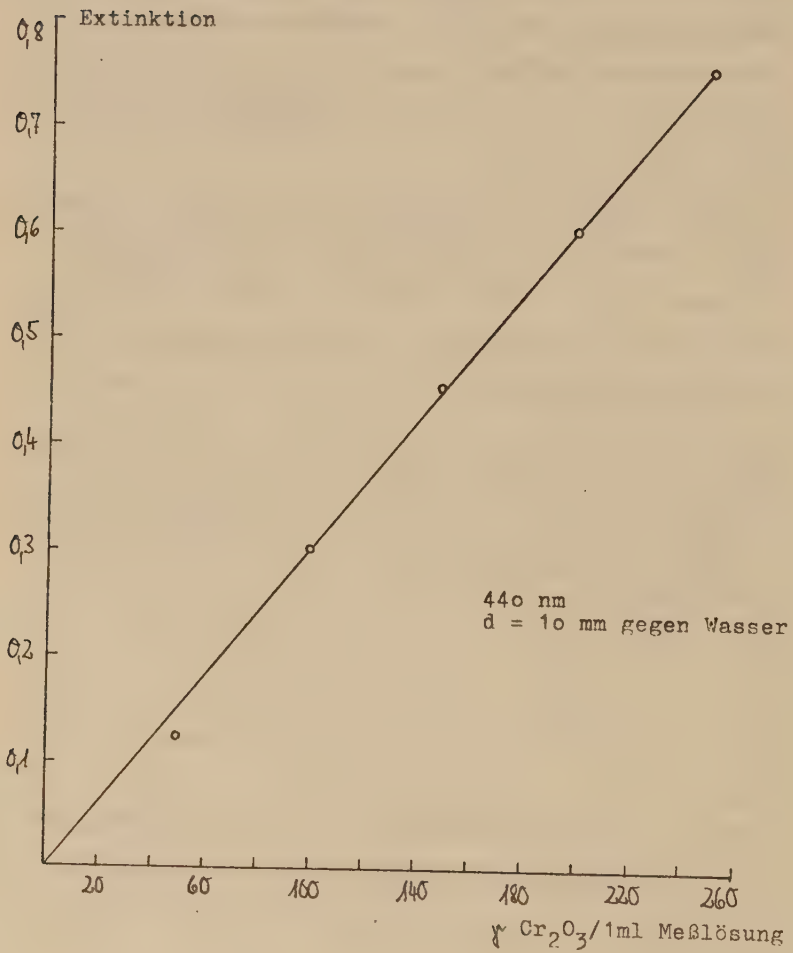
Zur Aufstellung der Eichkurve wurden in den vorliegenden Untersuchungen die Extinktionen wässriger $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -Lösungen bekannter Konzentrationen ermittelt (Abb. 7). Die Extinktionsermittlung erfolgte mit einem Spektral-
photometer ZEISS PQM II.

Die prozentuale Verdaulichkeit ($D \%$) der Futtertrocken-
substanz (TS) der untersuchten Diäten wurde aus den Cr_2O_3 -Gehalten des Futters und der Kotproben nach der folgenden Formel berechnet:

$$D \%_{\text{TS}} = \left(1 - \frac{c_{\text{F}}}{c_{\text{K}}} \right) \times 100$$

wobei c_{F} = Cr_2O_3 -Konzentration (%) im Futter (bez. auf TS),
 c_{K} = Cr_2O_3 -Konzentration (%) im Kot (bez. auf TS) sind.

Abb.7: Eichkurve zur Chrom-III-oxid-Bestimmung



3. Überprüfung der U_N verdaulichkeit der als Futterverdünner verwendeten Buchenholz-Cellulose

Die NBT bot sich an, die angenommene U_N verdaulichkeit der in die Versuchsdiäten II und III eingemischten Cellulose experimentell nachzuweisen. Hierzu wurden unmittelbar im Anschluß an die Verdaulichkeitsbestimmungen der Versuchsdiäten I, II und III nach der NBT jedem Versuchstier einmalig fünf mit 250 mg - Char- gen reiner Cellulose gefüllte Nylonbeutel eingegeben. Die im Kot gefundenen Nylonbeutel wurden getrocknet und gewogen. Die festgestellten Gewichts differenzen der Cellulosefüllungen vor und nach der Tierkörperpassage waren repräsentativ für den Grad der Verdaulichkeit bzw. U_N verdaulichkeit der Buchenholzcellulose.

Erwartungsgemäß wurden in keinem der drei Versuche Gewichtsabnahmen der Beutel-Füllungen festgestellt, was auf eine Verdauung der Cellulose während der Magen-Darm- passage hingedeutet hätte. Vielmehr wurden geringfügige Gewichtszunahmen von durchschnittlich 3 % errechnet, unabhängig davon, welche Versuchsdiäten (I, II bzw. III) den Schweinen als Haltungsfutter angeboten wurden. Von den eingegebenen Beuteln wurden zwischen 75 und 80 % im Kot wiederaufgefunden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Nach der Magen-Darm-Passage festgestellte Gewichtsveränderungen (%) von Nylonbeuteln mit reiner Cellulose-Füllung

Haltungsdiät	Versuchsschweine			
Schweinemast- fertigfutter, unverdünnt;	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
	+3,14	+3,75	+0,63	+1,86
	+1,44	+2,91	+5,41	+3,18
	+3,46	+1,44	+1,26	+8,03
	-2,24	-	+6,41	+7,93
	+0,98	-	-	-
	$\bar{x} = +3,1$ $s = \pm 2,76$ $R = 80 \%$			
Schweinemast- fertigfutter, verdünnt mit 17,84% Cellu- lose;	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
	+7,42	+3,18	+4,35	+1,71
	+5,99	+0,15	+0,79	+7,26
	-0,19	+5,38	+7,54	+4,78
	+6,87	-1,45	-	-
	-	+7,41	-	-
	$\bar{x} = +4,08$ $s = \pm 3,16$ $R = 75 \%$			
Schweinemast- fertigfutter, verdünnt mit 30,72% Cellu- lose;	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
	+4,56	+6,71	-6,54	+1,11
	-5,07	+4,67	+1,93	+4,32
	+9,61	+5,21	-	+3,69
	-2,70	+3,05	-	-0,62
	-	-	-	+0,11
	$\bar{x} = +2,00$ $s = \pm 4,39$ $R = 75 \%$			

$\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen
 s = Streuung der Einzelwerte
 R = Beutel-Wiederauffindungsrate (%)

4. Ergebnisse der Verdaulichkeitsuntersuchungen

Mit Hilfe der in den Vorversuchen entwickelten NBT wurde in drei Verdauungsversuchen mit jeweils vier Schweinen die Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit eines durch Zulage von 0 % (Versuchsdiät I), 17,84 % (Versuchsdiät II) bzw. 30,72 % (Versuchsdiät III) unverdaulicher Cellulose unterschiedlich verdünnten Schweinemastfertigfutters ermittelt. Hierzu wurden in jedem Versuch dem einzelnen Versuchstier zweimal im Abstand von fünf Tagen 4 - 5 Nylonbeutel, gefüllt mit der jeweiligen Versuchsdiät, eingegeben. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tabellen 2 - 4 dargestellt.

Parallel zu den Beutelversuchen wurden die Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeiten der Versuchsdiäten I, II und III an der gleichen Tiergruppe nach der Chromoxidmethode festgestellt. Die nach dem Indikatorverfahren ermittelten Verdauungskoeffizienten der drei Versuchsdiäten sind in Tabelle 5 angeführt.

In guter Übereinstimmung wurde die Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit des unverdünnten Schweinemastfertigfutters (Versuchsdiät I) mit 79,3 % sowohl nach der Chromoxidmethode als auch nach der NBT bestimmt. Durch Beimischung von 17,84 % unverdaulicher Cellulose zum Schweinemastfertigfutter (Versuchsdiät II) fiel die TS-Verdaulichkeit

auf 64,2 % (bestimmt nach der Cr_2O_3 -Methode) bzw. 64,05 % (bestimmt nach der NBT) ab. Die Verdaulichkeit der Futterrockensubstanz der 30,72 % Cellulose enthaltenden Versuchsdiet III wurde nach dem Indikator-Verfahren mit 52,9 % festgestellt. Hiermit stimmte auch der mit Hilfe der NBT erhaltene Wert von 53,5 % gut überein. Ein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den nach beiden Verfahren ermittelten Verdauungskoeffizienten der Futterrockensubstanz konnte nicht errechnet werden ($P > 0,05$ %). Die Ergebnisse dieser vergleichenden Untersuchungen sind in Tabelle 6 zusammengefaßt dargestellt.

Tabelle 2: Verdaulichkeit der Futter-TS (%) der Versuchsdiät I (Schweinemastfertigfutter, unverdünnt), bestimmt nach der Nylonbeutel-Technik

Versuchsschweine					
	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	
1. Versuch	77,79	77,00	79,16	70,82	$\bar{x}_1 = 78,20$
	82,89	78,62	82,62	75,96	
	-	75,18	82,00	81,79	$s_1\% = 5,75$
	-	82,22	84,09	70,89	
	-	-	-	71,99	$R_1 = 75\%$
2. Versuch	81,35	80,22	79,96	81,88	$\bar{x}_2 = 80,46$
	74,82	-	83,31	81,79	
	73,11	-	82,82	80,02	$s_2\% = 3,56$
	81,90	-	79,88	81,07	
	-	-	82,46	82,39	$R_2 = 75\%$
$\bar{x} = 79,33$ $s\% = 4,89$ $R = 75\%$ $P > 0,05$ (1.Versuch/2.Versuch)					

$\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen
 $s\%$ = Variabilitätskoeffizient
 R = Wiederauffindungsrate (%)
 P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 3: Verdaulichkeit der Futter-TS (%) der Versuchsdiät II (Schweinemastfertigfutter, verdünnt mit 17,84 % Cellulose), bestimmt nach der Nylonbeutel-Technik

Versuchsschweine					
	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	
1. Versuch	62,04	59,90	64,74	63,74	$\bar{x}_1 = 63,60$
	62,75	61,64	65,80	66,46	
	-	59,51	62,34	64,36	$s_1\% = 3,46$
	-	64,48	61,19	66,52	
	-	64,86	65,35	65,59	$R_1 = 85 \%$
2. Versuch	62,24	65,66	69,24	55,09	$\bar{x}_2 = 64,54$
	65,70	66,46	68,55	67,54	
	65,34	-	68,66	67,08	$s_2\% = 6,62$
	58,49	-	64,12	59,68	
	59,84	-	-	68,94	$R_2 = 80 \%$
$\bar{x} = 64,06$ $s\% = 5,23$ $R = 82,5 \%$ $P > 0,05 \text{ (1.Versuch/2.Versuch)}$					

$\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen
 $s\%$ = Variabilitätskoeffizient
 R = Wiederauffindungsrate (%)
 P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 4: Verdaulichkeit der Futter-TS (%) der Versuchsdiät III (Schweinemastfertigfutter, verdünnt mit 30,72 % Cellulose), bestimmt nach der Nylonbeutel-Technik

Versuchsschweine					
	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	
1. Versuch	50,19	54,84	53,79	49,29	$\bar{x}_1 = 53,69$
	52,53	53,86	58,78	55,78	$s_1\% = 5,44$
	49,31	-	-	56,47	
	54,99	-	-	54,52	$R_1 = 75 \%$
2. Versuch	54,21	-	51,83	49,18	$\bar{x}_2 = 53,39$
	56,95	-	55,21	56,69	$s_2\% = 5,66$
	51,25	-	56,42	-	
	48,82	-	53,38	-	$R_2 = 62,5 \%$
$\bar{x} = 53,56$ $s\% = 5,41$ $R = 68,7 \%$ $P > 0,05$ (1.Versuch/2.Versuch)					

$\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen
 $s\%$ = Variabilitätskoeffizient
 R = Wiederauffindungsrate (%)
 P = Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 5: Verdaulichkeiten der Futter-TS (%) der Versuchsdiäten I, II und III, bestimmt nach der Chromoxidmethode

<u>Versuchsdiät I</u> (Schweinemastfertigfutter, unverdünnt)				
Schwein	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
1.Versuch	78,51	78,97	79,65	80,60
	79,62	78,70	79,03	79,92
2.Versuch	76,87	79,36	79,11	79,21
	78,60	78,56	80,57	81,49
$\bar{x} = 79,29$ $s\% = 1,34$				

<u>Versuchsdiät II</u> (Schweinemastfertigfutter, verdünnt mit 17,84 % Cellulose)				
Schwein	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
1.Versuch	66,40	68,11	65,03	69,31
	64,96	62,86	65,21	64,80
2.Versuch	57,52	65,17	67,97	56,28
	63,47	65,13	58,95	65,84
$\bar{x} = 64,23$ $s\% = 5,77$				

<u>Versuchsdiät III</u> (Schweinemastfertigfutter, verdünnt mit 30,72 % Cellulose)				
Schwein	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
1.Versuch	46,88	50,31	53,24	52,24
	50,98	42,63	55,34	51,30
2.Versuch	44,15	57,49	64,22	51,16
	60,85	57,33	52,35	57,08
$\bar{x} = 52,97$ $s\% = 10,79$				

$\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen (%)
 $s\%$ = Variabilitätskoeffizient

Tabelle 6: Verdaulichkeiten der Futter-TS (%) eines mit Cellulose unterschiedlich verdünnten Schweinemastfertigfutters, ermittelt nach der Nylonbeutel-Technik und der Chromoxidmethode an Schweinen

Versuchsdiät	Nylonbeutel-Technik	Chromoxidmethode	statist. Sicherheit
I Schweinemastfertigfutter, unverdünnt	$\bar{x} = 79,33$ s% = 4,89 n = 30 R = 75 %	$\bar{x} = 79,29$ s% = 1,34 n = 16	P > 0,05
II Schweinemastfertigfutter, verdünnt mit 17,84 % Cellulose $x_t = 64,51 \%$	$\bar{x} = 64,06$ s% = 5,23 n = 33 R = 88,5 %	$\bar{x} = 64,23$ s% = 5,77 n = 16	P > 0,05
III Schweinemastfertigfutter, verdünnt mit 30,72 % Cellulose $x_t = 54,19 \%$	$\bar{x} = 53,56$ s% = 5,41 n = 22 R = 68,7 %	$\bar{x} = 52,97$ s% = 10,79 n = 16	P > 0,05
$\bar{x}$ = Mittelwert der Einzelbestimmungen; x_t = Theoretisch vorausberechnete Verdaulichkeit; n = Anzahl der Einzelbestimmungen; s% = Variabilitätskoeffizient; R = Beutel-Wiederauffindungsrate; P = Irrtumswahrscheinlichkeit;			

E) DISKUSSION

Die Nylonbeutel-Technik (NBT) konnte bisher nur erfolgreich bei Pansenfistel-Tieren eingesetzt werden, um die Einwirkungen des Pansensaftes auf Futtermischungen und Futter-Einzelkomponenten zu studieren (1,2,16,22,29,38,41,46). Der Durchführung stehen dabei keine größeren Schwierigkeiten entgegen. Die mit dem Untersuchungsmaterial gefüllten Beutel, die weitgehend von beliebiger Form und Größe sein können, werden über eine operativ angelegte Fistel in den Pansen des Versuchstieres eingehängt. Sie verbleiben dort und können nach Beendigung der Verdauungsvorgänge wieder vollzählig entnommen werden. Die einzige Schwierigkeit bei derartigen Untersuchungen dürfte darin liegen, ein Material zur Herstellung der Futterbeutel zu finden, das den ungehinderten Stoffaustausch zwischen Pansensaft und Beutelinhalt erlaubt. Diese Methodik hat den großen Nachteil, daß das Untersuchungsmaterial nicht den Einwirkungen der gesamten Verdauung unterliegt und somit nur eine partielle Verdaulichkeit von Futterproben ermittelt werden kann.

Untersuchungen, bei denen die NBT erfolgreich zur Bestimmung der Gesamtverdaulichkeit von Futtermischungen eingesetzt wurde, sind nicht bekannt. Will man nach diesem Prinzip Verdauungskoeffizienten ermitteln, muß das in permeable Futterbeutel fest eingeschlossene Untersuchungsmaterial wie die natürlich aufgenommene Nahrung den gesamten Verdauungstrakt eines Versuchstieres durchlaufen. Bei den verschiedenen Tierarten hat sich aufgrund ihrer Ernährungsweise der Verdauungstrakt recht unterschiedlich entwickelt. Im Vergleich zu Pflanzenfressern verfügen Fleischfresser und das Schwein über ein anatomisch einfach aufgebautes Magen-Darmsystem. Eine ungestörte Passage von Futterbeuteln durch den Tierkörper ist deshalb in erster Linie bei monogastrischen Tieren zu erwarten. Trotzdem ist eine Behinderung der Beutelpassage auch bei diesen Tieren durch die einzelnen Engpässe des Verdauungskanals möglich. Bei der Anwendung der NBT müssen aus diesem Grund die Abmessungen der eingegebenen Futterbeutel auf den kleinsten Öffnungsquerschnitt im Intestinum des jeweiligen Versuchstieres abgestimmt werden.

Das Prinzip der NBT erschien uns als geeignete Methode, den klassischen Verdauungsversuch technisch zu vereinfachen und zeitlich abzukürzen.

Von den landwirtschaftlichen Nutztieren haben wir das Schwein als Versuchstier gewählt, da es uns für unsere

Untersuchungen als am besten geeignet erschien. Wie in den vorliegenden Untersuchungen gezeigt werden konnte, können zur Ermittlung der Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit ausreichend große Futterbehälter den Magen-Darmkanal des Schweines passieren. Für 30 - 80 kg schwere Tiere wurden 30 x 10 x 10 mm große Nylonbeutel als optimal befunden. Die Passage der Beutel wird nach unseren Beobachtungen nur beim Übergang vom Magen in das Duodenum, im Ostium pylori, behindert. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß sich nicht jedes Schwein für derartige Untersuchungen eignet. Im Verlauf unserer Versuche mußte festgestellt werden, daß einzelne Tiere die Abgabe der eingegebenen Nylonbeutel verweigerten (Versagertiere). Bei der Schlachtung dieser Tiere konnten die nicht ausgeschiedenen Beutel im Magenbrei schwimmend wiederaufgefunden werden. Aufgrund dieser Beobachtung läßt sich möglicherweise das Zurückhalten der Beutel im Magen folgendermaßen erklären:

Beim Einschweißen des lufttrockenen Materials in die Futterbeutel wird zwangsläufig atmosphärische Luft mit eingeschlossen. Diese kann aber im Magen des Versuchstieres ebenso wie die bei der beginnenden Verdauung des Beutelinhaltes entstehenden Gärgase infolge der schlechten Benetzbarkeit des Nylongewebes den Beutel nur sehr schwer verlassen, und gleichzeitig ist das Eindringen von Flüssigkeit aus dem Magenbrei er-

schwert. Dieser gestörte Austausch läßt sich auch durch in-vitro-Versuche nachweisen. In Wasser eingelegte, mit Schweinemastfertigfutter gefüllte Nylonbeutel verbleiben bis zu zwei Tagen an der Wasseroberfläche und können erst nach vollständiger Durchfeuchtung des Beutelinhaltes absinken. Abgesehen davon, daß dieser Umstand mitverantwortlich für die Retention der Beutel im Magen sein kann, ist aber auch die vollständige Durchfeuchtung des Beutelinhaltes Voraussetzung für dessen quantitative Verdauung, denn der enzymatische Aufschluß der Nährstoffe kann nur im feuchten Milieu erfolgen.

Bei der für Schweine gebräuchlichen zweimaligen Fütterung am Tag ist der Magen bei der nächsten Nahrungsaufnahme noch nicht vollständig entleert (59). Die neu aufgenommene Futterration verdrängt den älteren Mageninhalt nach dem Sinus zu und füllt vorwiegend die kranialen Abschnitte des Magens an. Von diesem Vorgang werden jedoch die Futterbeutel nicht ergriffen, solange sie noch Gase enthalten und deshalb aufgrund ihres kleineren spezifischen Gewichtes auf dem Magengerei schwimmen.

Diese Überlegungen gaben Veranlassung, von der zweimaligen Fütterung der Versuchstiere abzuweichen, um die Wiederauffindungsrate der Beutel nach der Tierkörper-

passage zu verbessern. Durch Anwendung einer speziellen Intervallfütterung (Fütterungstechnik II, Seite 46) konnte eine Wiederauffindungsrate von über 70 % erreicht werden. Bei dieser Fütterungstechnik werden die Versuchstiere am Tage der Beuteleingabe nicht gefüttert und erhalten am darauffolgenden Versuchstag bei der Morgenfütterung einmalig die doppelte Ration.

Durch das Hungernlassen der Schweine wird eine nahezu vollständige Entleerung des Magens erreicht. Die im Magen befindlichen Beutel werden nun von peristaltischen Kontraktionen der Magenmuskulatur ergriffen, wodurch der Austausch von Gasen und Flüssigkeiten durch die Beutelwand erleichtert wird. Außerdem werden die Beutel von beginnenden Hungerkontraktionen der Magenmuskulatur erfaßt und pyloruswärts gedrängt. Durch das Verabreichen der doppelten Futterration an die hungernden Tiere wird eine übermäßige Füllung des Magens erreicht. Aufgrund des Druckunterschiedes zwischen vollem Magen und noch leerem Duodenum (26) findet nun eine vermehrte peristaltische Entleerung des Mageninhaltes in das Duodenum statt. Die vor dem Ostium pylori liegenden, nicht mehr schwimmfähigen Futterbeutel werden davon ergriffen und können den Magen verlassen.

Die Richtigkeit dieser Theorie konnte experimentell dadurch bestätigt werden, daß bei nicht vollständiger Ausscheidung der Beutel durch wiederholte Anwendung der beschriebenen Fütterungstechnik nahezu alle Beutel im Kot wiedergefunden werden konnten (Wiederauffindungsrate 96 %). Der mangelnde Erfolg dieser Methodik bei Versagertieren kann nur ungenügend erklärt werden. Vorstellbar ist, daß bei diesen Tieren durch die mechanische Reizwirkung der Futterbeutel ein reflektorischer Pylorusschluß verursacht wird.

Wie sich in den Untersuchungen gezeigt hat, kann nur bei Anwendung der Fütterungstechnik II eine befriedigende Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel erreicht werden, wenn auch die Passagezeit der Beutel der physiologischen Futterdurchgangszeit beim Schwein (12 Stunden bis zu vier Tagen) entsprechen soll (39). Da verschiedentlich eine Beeinflussung der Rationsverdaulichkeit durch die Passagegeschwindigkeit des Futterbreis im Magen-Darmkanal beobachtet worden ist (31, 40), wurden bei den vergleichenden Verdaulichkeitsuntersuchungen nur die im Zeitraum von 48 - 96 Stunden nach Applikation im Kot wiederaufgefundenen Nylonbeutel ausgewertet.

Inwieweit sich das Verdauungsvermögen der Versuchsschweine bei Anwendung der Intervallfütterung veränderte, wurde nicht festgestellt. Derartige Veränderungen

konnten sich jedoch nur geringgradig auf die Verdaulichkeit des Beutelinhaltes auswirken. Die für die Versuchsdiäten I - III zum Zeitpunkt der Intervallfütterung in Nylonbeuteln ermittelten Verdauungskoeffizienten stimmten mit den Werten gut überein, die nach der Cr_2O_3 -Methode bei gleichmäßiger Fütterung der Versuchstiere erhalten wurden.

Die Wiederauffindungsrate der Futterbeutel hängt u. a. von der Form der Beutel ab. Es ist vorstellbar, daß zylindrische oder kugelförmige Futterbehälter den Magen-Darmkanal eines Versuchstieres weitgehend ungestört passieren können. Dies erklärt auch, daß sich im Gegensatz zu der anfangs gewählten flachen viereckigen Beutelform ("Teefix-Form") die Wiederauffindungsrate bei tetraederförmigen Beuteln wesentlich verbesserte. Möglicherweise werden die "Teefix"-Beutel an die Magen- bzw. Darmwand gedrängt und der Futterbrei wird an ihnen vorbei transportiert. Besonders erschwert dürfte der Durchtritt dieser Beutel durch den Pylorus sein. Dagegen bieten die dreidimensionalen Tetraederbeutel dem durch peristaltische Muskelkontraktionen bewegten Futterbrei mehr Angriffspunkte und werden deshalb besser durch den Magen-Darmkanal geschoben.

Versuche, zylindrische Futterbehälter aus sogenannten Diffusionskammerröhrchen ¹⁾ zu verwenden, scheiterten an deren geringer mechanischer Belastbarkeit. Es ist allerdings fraglich, ob die zur quantitativen Verdauung notwendige ständige Durchmischung des eingeschlossenen Untersuchungsmaterials in starrwandigen Futterbehältern stattfinden kann. In flexiblen Nylonbeuteln, wie sie in den vorliegenden Untersuchungen verwendet wurden, kann der Inhalt bei der Magen-Darm-passage stets durchmischt werden. Eine gestörte Verdauung des Beutelinhaltes ist dann zu erwarten, wenn das lufttrocken eingeschweißte Untersuchungsmaterial durch Flüssigkeitsaufnahme übermäßig stark quillt bzw. der Beutel durch entstehende Gärgase aufgebläht wird. Dieser Möglichkeit wurde Rechnung getragen, indem die verwendeten Nylonbeutel nur bis zu $\frac{2}{3}$ ihres maximalen Fassungsvermögens mit dem zu untersuchenden Schweinemastfertigfutter gefüllt wurden.

Die Ergebnisse der vergleichenden Verdaulichkeitsuntersuchungen an drei Mischfutterrationen unterschiedlicher Qualität zeigen, daß beim Schwein mit Hilfe der beschriebenen NBT die Verdaulichkeit der Futter-TS in

¹⁾ Nahtlose Diffusionskammerröhrchen (CH 00 700 40) vom Typ Millipore Filter HA (Porenweite $0,45 \mu\text{m}$), verstärkt mit monofaserigem Nylongewebe. Millipore Filter GmbH, Neu-Isenburg.

einem weiten Bereich zuverlässig ermittelt werden kann (Tabelle 6). Sowohl bei dem unverdünnten Schweinemastfertigfutter (Versuchsdiät I) als auch bei den 17,84 % bzw. 30,72 % unverdauliche Cellulose enthaltenden Versuchsdiäten II und III konnten zwischen den nach der NBT festgestellten Verdauungskoeffizienten und den gleichzeitig nach der Cr_2O_3 -Indikatormethode erhaltenen Werten keine statistisch signifikanten Unterschiede berechnet werden ($P > 0,05$).

1. Die TS-Verdaulichkeit des unverdünnten Schweinemastfertigfutters (Versuchsdiät I) wurde mit Hilfe der NBT mit 79,33 % bestimmt. Nahezu der gleiche Verdauungskoeffizient (79,29 %) ergab sich bei der Berechnung der TS-Verdaulichkeit nach dem Indikatorverfahren.
2. Die in Nylonbeutel eingeschweißte 17,84 % Cellulose enthaltende Versuchsdiät II wurde durchschnittlich zu 64,06 % verdaut, was durch den mit der Chromoxidmethode gefundenen Wert von 64,23 % bestätigt wird.
3. Wie die aus der Gewichtsabnahme der Beutel errechneten Werte zeigen, konnte das mit 30,72 % Cellulose verdünnte Schweinemastfertigfutter (Versuchsdiät III) von den Schweinen zu 53,56 % ausgenutzt werden. In guter Übereinstimmung dazu wurde die Verdaulichkeit dieser Ration nach der Cr_2O_3 -Indikatormethode mit 52,97 % bestimmt.

Wie bereits ausgeführt, konnte eine befriedigende Wiederauffindungsrate von Futterbeuteln nur erreicht werden, wenn einem Versuchsschwein nicht mehr als fünf Beutel auf einmal eingegeben wurden. Um eine größere Menge von Futterbeuteln zur Absicherung der Resultate auswerten zu können, wurde daher in jedem Verdauungsversuch die Eingabe von Beuteln im Abstand von fünf Tagen wiederholt. Wie aus den Tabellen 2 - 4 zu ersehen ist, war bei allen drei Versuchsdiäten die Bestimmung der Futter-TS-Verdaulichkeit in den Wiederholungsversuchen gut reproduzierbar. Es bestand kein statistisch abgesicherter Unterschied ($P > 0,05$) zwischen den aus den Einzelwerten des ersten und zweiten Versuchs errechneten Mittelwerten. Es war deshalb erlaubt, für die einzelnen Versuchsdiäten alle Einzelergebnisse zusammenzufassen und deren Mittelwert als durchschnittliche TS-Verdaulichkeit der jeweiligen Diät anzugeben.

Um die Zuverlässigkeit der Verdaulichkeitsbestimmungen mit Hilfe der NBT für einen weiteren Bereich der Futter-TS-Verdaulichkeit zu überprüfen, erschien es angebracht, außer einem hochverdaulichen Schweinemastfertigfutter auch Rationen minderer Qualität auf ihre Verdaulichkeit in Nylonbeuteln zu untersuchen. Nachdem die TS-Verdaulichkeit eines handelsüblichen

Schweinemastfertigfutters hinreichend genau mit der NBT in guter Übereinstimmung zu dem Indikatorverfahren festgestellt werden konnte, erschien es zweckmäßig, dieses Schweinemastfertigfutter durch Zulage einer unverdaulichen Komponente in seiner Verdaulichkeit herabzusetzen. In den vorliegenden Untersuchungen wurde als Futterverdünner eine technisch hergestellte pulverförmige Cellulose verwendet.

Die Möglichkeit, daß Cellulose vom Schwein verdaut werden kann, ist umstritten (5, 65). Es darf aber angenommen werden, daß nach einer längeren Adaptationszeit Schweine einige Cellulosearten in geringem Umfang verwerten können. Dagegen wird allgemein festgestellt, daß Alpha-Cellulose durch mikrobielle Cellulase im Dickdarm des Schweines nicht abgebaut werden kann (18,64,68). Nach JERMYN (24) wird als Alpha-Cellulose derjenige Cellulose-Anteil definiert, der in 17,5 %iger NaOH nicht löslich ist. Diese Eigenschaft der Alpha-Cellulose ist auf die hohe Anzahl von Glukoseresten im Cellulosemolekül (Polymerisationsgrad > 200) zurückzuführen.

Für die verwendete Buchenholz-Cellulose wurden vom Hersteller der Gehalt an Alpha-Cellulose mit 89 - 90 % sowie ein Durchschnittspolymerisationsgrad von 620 - 680 (nach JAYME-WELLM) angegeben.

Die aufgrund dieser Angaben vorausgesetzte U_n verdaulichkeit der Buchenholz-Cellulose konnte in eigenen Untersuchungen experimentell nachgewiesen werden. Das von uns entwickelte Nylonbeutel-Verfahren bot sich geradezu an, diesen Nachweis zu erbringen. Von 60 eingegebenen Beuteln, in die jeweils 250 mg (TS) reine Cellulose eingeschweißt worden waren, konnten insgesamt 46 Beutel im Kot wiedergefunden werden (Seite 51). Nur bei sieben Beuteln wurde eine Gewichtsabnahme von etwa 2,7 % festgestellt, weshalb eine Verdaulichkeit der verwendeten Cellulose ausgeschlossen werden kann. Bei allen übrigen Cellulose-Beuteln hatte dagegen das Gewicht bei der Tierkörperpassage um 4,1 % zugenommen. Die beobachtete geringe Gewichtszunahme erklärt sich möglicherweise dadurch, daß bei der Passage gelöste Anteile aus dem Chymus in die Beutel eindiffundiert waren, da nach dem Versuch eine Farbabweichung der Cellulose zu bemerken war.

Die Gewichts-differenzen der mit Cellulose gefüllten Beutel waren in allen drei Verdauungsversuchen vergleichbar, obwohl den drei Versuchstiergruppen ein Haltungsfutter mit unterschiedlichem Cellulosegehalt (0 % - 17,84 % - 30,72 %) angeboten wurde. Selbst unter der Annahme, daß die verwendete Buchenholz-Cellulose einer mikrobiellen Hydrolyse im Verdauungstrakt des Schweines unterliegen könnte, reichte aufgrund obiger Ergebnisse in unseren Versuchen die Adaptationszeit dafür offensichtlich nicht aus.

Unter Berücksichtigung des Celluloseanteils lassen sich die TS-Verdaulichkeiten der chromoxidhaltigen Versuchsdiäten II und III theoretisch vorausberechnen. Setzt man daher die Cellulose als vollständig unverdaulich voraus und legt den von dem unverdünnten Schweinemastfertigfutter (Diät I) experimentell erhaltenen Verdauungskoeffizienten der Futter-TS von 79,3 % zugrunde, so errechnet sich die Verdaulichkeit der Versuchsdiät II (+ 17,84 % Cellulose) mit 64,51 % und die der Versuchsdiät III (+ 30,72 % Cellulose) mit 54,19 %. Die gute Übereinstimmung der im Experiment gefundenen Verdauungskoeffizienten mit den theoretisch vorausberechneten Werten bestätigen weiterhin die U_n verdaulichkeit der in den Diäten II und III als Futterverdünner verwendeten Cellulose.

Die mit Hilfe der NBT ermittelten Einzelwerte der Futter-TS-Verdaulichkeit weichen in allen drei Verdauungsversuchen gleichmäßig um etwa ± 5 % vom Mittelwert ab. Im Gegensatz dazu fällt auf, daß diese Streuung bei der Chromoxidmethode proportional der Celluloseverdünnung zunimmt. Der Variabilitätskoeffizient beträgt bei der cellulosefreien Versuchsdiät I $\pm 1,34$ %. Bei 17,84 % Cellulosebeimischung

(Versuchsdiät II) erhöht er sich auf $\pm 5,77 \%$, um bei der Versuchsdiät III ($30,72 \%$ Cellulose) auf $\pm 10,79 \%$ anzusteigen.

Die Zuverlässigkeit der zur Ermittlung der Verdauungskoeffizienten eingesetzten Chromoxidmethode hat sich bisher in zahlreichen Untersuchungen an verschiedenen Tierarten und auch am Menschen bestätigt (9,11,20,23,42,50,51,53,57,61,62,66). In den vorliegenden Untersuchungen wurde der Cr_2O_3 -Gehalt in den Futter- und Kotproben nach einer allgemein üblichen und von KIMURA und MILLER vorgeschlagenen Analyse-methode ermittelt (10,14,15,30). Es wird deshalb vermutet, daß die oben festgestellte zunehmende Streuung der Verdauungskoeffizienten möglicherweise auf Interaktionen zwischen dem Indikator Chromoxid und dem Futterverdünner Cellulose zurückgeführt werden muß. So wurde beim analytischen Aufschluß des Chrom-III-oxids im Verlauf der nassen Veraschung der Futter- und Kotproben ein stärkeres Aufschäumen beobachtet, wenn diese Cellulose enthielten. Die Klärung dieses Problems war jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß diese stark streuenden Verdaulichkeitswerte der cellulosehaltigen Proben Veranlassung gaben, in unseren Instituten in späteren Untersuchungen die in der Literatur angegebenen Verfahren zur analy-

tischen Bestimmung des Chromoxidgehaltes in Futter- und Kotproben zu überarbeiten (49). Dabei wurde festgestellt, daß die allgemein übliche photometrische Bestimmung des Chromat-Ions bei 440 nm unzuverlässige Meßergebnisse liefert.

In den vorliegenden Untersuchungen konnte aufgezeigt werden, daß mit Hilfe der NBT die TS-Verdaulichkeit unterschiedlicher Mischfuttermischungen beim Schwein zuverlässig ermittelt werden kann. Hierbei war in jedem Verdauungsversuch das in die Nylonbeutel eingeschweißte Untersuchungsmaterial identisch mit dem während der Beutelpassage an die Versuchsschweine verabreichten Haltungsfutter. Das weitere Ziel dieser umfangreichen Untersuchungen an unseren Instituten ist jedoch, Versuchsschweine bei einer beliebigen Diät zu halten und an ihnen in Nylonbeuteln die Verdaulichkeit verschiedener, aber mit dem Haltungsfutter nicht identischer Futtermischungen zuverlässig bestimmen zu können. Hierzu ist Voraussetzung, daß die Verdaulichkeit des Beutelinhaltes nicht durch Art und Zusammensetzung des Haltungsfutters beeinflußt wird. Es sei darauf hingewiesen, daß im Anschluß an diese Arbeit RAPP (54) zur Klärung dieser Frage die Futter-TS-Verdaulichkeit von Mischfuttermischungen in einem Überkreuzverfahren ermittelte

und dabei eine Beeinflussung der TS-Verdaulichkeit des Untersuchungsmaterials im Beutel durch das verabreichte Haltungsfutter nicht feststellen konnte.

Unter diesem Gesichtspunkt ergibt sich eine weitere Anwendungsmöglichkeit der NBT zur Untersuchung der Verdaulichkeit von Futtereinzelkomponenten sowie von isolierten Nährstoffen, die bisher nur in dem sehr arbeitsaufwendigen Differenzversuch ermittelt werden konnten. Ein erster Hinweis auf die Durchführbarkeit derartiger Untersuchungen sind die in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der NBT angestellten Versuche zur Feststellung der Unverdaulichkeit der als Futterverdünner verwendeten Buchenholz-Cellulose. So angewendet, könnte die NBT als eine spezielle Modifikation des Differenzverfahrens bezeichnet werden.

Es ist zu hoffen, daß auch die Verdauungskoeffizienten von Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen in Mischfutterrationen mit Hilfe der NBT bestimmt werden können. Über diesbezügliche Untersuchungen, die gleichzeitig mit den hier beschriebenen Futter-TS-Verdaulichkeitsbestimmungen durchgeführt wurden, wird an anderer Stelle berichtet werden (19).

Das Schwein wurde als Versuchstier gewählt, da bei diesem Tier mit seinem anatomisch einfach aufgebauten Magen-Darmsystem am ehesten eine ungestörte Passage der Nylonbeutel zu erwarten war. Inwieweit die NBT auf andere Tierarten ausgedehnt werden kann, bleibt noch zu klären. Bei monogastrischen Tieren besteht diese Möglichkeit, sofern ausreichend große Futterbeutel den Verdauungskanal ungehindert passieren können. Beim Wiederkäuer ist im Gegensatz zu Pansenfistelversuchen die Anwendung der NBT zur Bestimmung der Gesamtverdaulichkeit von Futterrationen am intakten Versuchstier fraglich, da eine Beutelpassage durch die Hauben-Psalter-Öffnung nicht vorstellbar ist. Eigene Untersuchungen an einem Milchkalb zeigten bei Röntgenkontrollen, daß auch bei ausgelöstem Schlundrinnenreflex die Beutel den Labmagen nicht erreichten. Außerdem besteht beim erwachsenen wiederkauenden Tier grundsätzlich die Gefahr, daß die Beutel bei der Rejektion der Nahrung in die Mundhöhle gelangen und zerkaut werden. Ungeeignet als Versuchstier erscheint ebenfalls der Vogel, da Futterbeutel den mechanischen Einwirkungen im Muskelmagen dieser Tiere kaum standhalten dürften.

F) ZUSAMMENFASSUNG

Die zur Untersuchung der partialen Verdaulichkeit von Futtermitteln an Pansenfisteltieren häufig verwendete Nylonbeutel-Technik (NBT) wurde modifiziert, um damit beim Schwein die Gesamtverdaulichkeit von Mischfutterrationen oder Futtereinzelkomponenten ermitteln zu können.

Von zahlreichen im Handel angebotenen Kunststoffgeweben und -folien war nach eigenen Untersuchungen nur das monofile Nylongewebe NYTAL 5/ μ Spezial für derartige Verdaulichkeitsversuche geeignet. Aus dem Material wurden 30 x 10 x 10 mm große tetraederförmige Beutel mit Hilfe eines Schweißgerätes angefertigt. In diese Beutel wurden 500 mg - Chargen des auf seine Verdaulichkeit zu untersuchenden Futters eingeschweißt. Die fertigen Futterbeutel wurden über eine Magen-Schlundsonde den Versuchsschweinen eingegeben. Bei Anwendung einer speziellen Fütterungstechnik (Intervallfütterung) konnten durchschnittlich über 70 % der eingegebenen Beutel nach 48 - 96 Stunden in den Faeces wiederaufgefunden werden.

Mit Hilfe dieser in langwierigen Vorversuchen entwickelten Methodik wurde die Trockensubstanz-Verdaulichkeit von drei unterschiedlich verdaulichen Diäten

(Schweinemastfertigfutter unverdünnt; Schweinemastfertigfutter + 17,84 % unverdaulicher Buchenholz-Cellulose; Schweinemastfertigfutter + 30,72 % unverdaulicher Buchenholz-Cellulose) in Nylonbeuteln an jeweils 4 Versuchsschweinen (25 - 80 kg) bestimmt.

Um die Zuverlässigkeit der mit Hilfe der NBT ermittelten Verdauungskoeffizienten überprüfen zu können, wurde die TS-Verdaulichkeit der 3 Versuchsdiäten gleichzeitig an derselben Tiergruppe auch nach dem Chromoxid-Indikatorverfahren festgestellt.

Für die 3 untersuchten Versuchsdiäten konnte kein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den nach beiden Verfahren bestimmten Verdauungskoeffizienten berechnet werden ($P > 0,05$).

Aufgrund dieser Ergebnisse erscheint die Anwendbarkeit der Nylonbeutel-Technik auch zur vereinfachten Verdaulichkeitsbestimmung von Mischfuttermischungen am Schwein geeignet.

Die Ergebnisse sowie Fragen der Versuchstechnik und weiterer Anwendungsmöglichkeiten der NBT werden diskutiert.

SUMMARY

The nylon-bag-technique (NBT), so far only used for digestion studies with fistulated ruminants was modified to determine the dry matter digestibility of mixed rations in swine.

A useful nylon tissue (NYTAL 5/ μ Spezial) was found, suitable to produce bags with the size of 30 x 10 x 10 mm. These bags were filled with 500 mg food samples and applicated to swines by means of a stomach tube. 48 - 96 hours after application they were to be found in the feces. The dry matter digestibility of the samples was determined by the weight difference before and after gastrointestinal passage.

In order to study the reliability of the nylon-bag-technique, three diets of different digestibility-coefficients were investigated by the NBT and by the chromic oxide method at the same time. The digestibility of the trial rations was varied by adding known quantities of an undigestable cellulose.

All values found by the NBT show a significant correlation with those obtained by use of the chromic oxide method ($P > 0,05$).

The NBT seems to be a suitable method for determining the dry matter digestibility of concentrate rations in swine. The results and questions of trial technique and other possibilities of using the nylon-bag-technique are discussed.

G) LITERATURVERZEICHNIS

1. Algeo, J. W., Brannum, T. P., Hibbits, A. G.:
An evaluation of the surf high pressure grain-exploding process on milo: Digestibility (nylon bag), VFA (in vitro), steer fattening performance and carcass characteristics.
J. Anim. Sci. 27, (1968), 1159
2. Archibald, J. G. et al.:
Measurement of the nutritive value of alfalfa and timothy hay by varied techniques.
J. Dairy Sci. 44, (1961), 2232
3. Armsby, H. P.:
Nutrition of farm animals.
New York, The Macmillan Co. (1922)
4. Armsby, H. P., Fries, F. A.:
Net energy of feeding stuffs for cattle.
J. Agr. Research 3, (1915), 435
5. Becker, M., Nehring, K.:
Handbuch der Futtermittel
Paul Parey, 2, (1965), 106
6. Blaxter, K. L.:
The energy metabolism of ruminants
Th. Springfield (1962)

7. Blaxter, K. L.:
Progress in assessing the energy value of
feeding-stuffs for ruminants.
J. Roy. agr. 123, (1962), 7
8. Bolin, D. W., King, R. P., Klostermann, E. W.:
A simplified method for the determination of
chromic oxide (Cr_2O_3) when used as an index
substance.
Sci. 116, (1953), 634
9. Bradley, N. W., Forbes, R. M., Albert, W. W.,
Mitchell, G. E. jr., Neumann, A. L.:
Use of the chromic oxide method for determining
digestible energy and protein in complete
pelleted steer rations.
J. Anim. Sci. 17, (1958), 1199
10. Clanton, D.:
Variation in chromic oxide methods of deter-
mining digestibility of hand-feed beef cattler
rations.
J. Anim. Sci. 21, (1962), 214
11. Clawson, A. J., Reid, J. T., Sheffy, B. E., Willman,
J. P.:
Use of chromium oxide in digestion studies with
swine.
J. Anim. Sci. 14, (1955), 700

12. Corbett, J. L., Greenhalgh, J. F. D., Gwinn, P. E.,
Walker, D.:

Exkretion of chromium-sesqui-oxide and poly-
ethyleneglycol by dairy cows.

Brit. J. Nutr. 12, (1958), 266

13. Edin, H.:

Orienterante försök över en på ledkroppsprincipen
grundad metod att bestämma en foderblandings smäl-
barket.

Meddelanden från centralanstalten för för-
söksöskväsendet på jordbruksområdet 165, (1918)

14. Elam, C. J., Putnam, P. A., Davis, R. E.:

Fecal excretion pattern of chromic oxide ad-
ministered to hereford heifers in a completely
pelleted ration.

J. Anim. Sci. 18, (1959), 718

15. Elam, C. J., Reynolds, P. J., Davis, R. E., Everson,
D. O.:

Digestibility studies by means of chromic oxide,
lignin and total collection techniques with sheep.

J. Anim. Sci. 21, (1962), 189

16. Erwin, E. S., Elliston, N. G.:

Rapid method of determining digestibility of
concentrates and roughages in cattle.

J. Anim. Sci. 18, (1959), 931

17. Farries, E., Oslage, H. J.:

Zur Technik langfristiger Stoffwechselversuche
an wachsenden Schweinen.

Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelk.
16, (1961), 65

18. Halliwell, G.:

The enzymic decomposition of cellulose.

Nutr. Abstr. and Reviews 29, (1959), 747

19. Handlos, M.:

Med. vet. Diss., München, in Vorbereitung.

20. Hardison, W. A., Engel, R. W., Linkous, W. N.,
Sweeney, H. C., Graf, G. C.:

Fecal chromic oxide in 12 dairy cows as related
to time and frequency of administration
and to feeding schedule.

J. Nutr. 58, (1956), 11

21. Hill, F. W., Anderson, D. L.:

Comparison of metabolizable energy and productive
energy determinations with growing
chicks.

J. Nutr. 64, (1958), 587

22. Hopson, J. D., Johnson, R. R., Dehority, B. A.:

Evaluation of the Dacron bag technique as a method for measuring cellulose digestibility and rate of forage digestion.

J. Anim. Sci. 22, (1963), 488

23. Hülst v., F.:

Untersuchungen an Schafen zur Bestimmung der Verdauungskoeffizienten mittels exogener und endogener Indikatoren im Vergleich zum klassischen Bilanzverfahren.

Verl. Forschung und Beratung 13, (1964), 48

24. Jermyn, M. A.:

Cellulose and Hemicelluloses

Aus: Peach, K., Tracey, M.: Moderne Methoden der Pflanzenanalysen

Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg,

2. Aufl. (1955), 200

25. Kane, E. A., Jacobson, W. C., Moore, L. A.:

A comparison of techniques used in digestibility studies with dairy cattle.

J. Nutr. 41, (1950), 583

26. Keidel, W. D.:

Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie

Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1967), 164

27. Kellner, O.:

Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere
Verlag P. Parey, Berlin, 8. Aufl. (1919)

28. Kellner, O., Becker, M.:

Grundzüge der Fütterungslehre.
Verlag P. Parey, Hamburg u. Berlin, 14. Aufl.
(1966)

29. Keuren van, R. W., Heinemann, W. W.:

Study of a nylon bag technique for in vivo
estimation of forage digestibility.
J. Anim. Sci. 21, (1962), 340

30. Kimura, F. T., Miller, V. L.:

Improved determination of chromic oxide in cow
feed and feces.
Agr. and Food Chem. (1956), 216

31. Kirchgessner, M.:

Tierernährung.
DLG-Verlag, Frankfurt/M. (1970)

32. Kleiber, M.:

Der Energiehaushalt von Mensch und Haustier.
Verlag P. Parey, Hamburg u. Berlin, (1967), 214

33. Kleiber, M.:

Ernährungsforschung an intakten Kühen mit
Hilfe von Isotopen als Tracern.

Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelk.

11, (1956), 195

34. Kleiber, M., Smith, A. H., Ralston, N. P., Black, A.L.:

Radiophosphorous P^{32} as tracer for measuring en-
dogenous phosphorous in cows feces.

J. Nutr. 45, (1951), 253

35. Knapka, J. J., Barth, K. M., Brown, D. G., Cragle,

R. G.:

Evaluation of polyethylene, chromic oxide, and
Cerium-144 as digestibility indicators in burros.

J. Nutr. 92, (1967), 79

36. Lassiter, J. W., Alligood, V., McGaughey, C. H.:

Chromic oxide as an index of digestibility of
allconcentrate rations for sheep.

J. Anim. Sci. 25, (1966), 44

37. Lambert, M. R., Jacobson, N. L.:

The effect of chlortetracycline feeding on
cellulose digestion in the bovine rumen.

J. Anim. Sci. 17, (1958), 656

38. Lusk, J. W., Browning, C. B., Miles, J. T.:
Small sample in vivo cellulose digestion procedure for forages evaluation.
J. Dairy Sci. 45, (1962), 69
39. Mangold, E.:
Die Verdauung bei den Nutztieren.
Akademie-Verlag, Berlin (1950), 27
40. Maynard, L. A., Loosli, J. K.:
Animal Nutrition.
McGraw-Hill Book Comp., New York, 6. Aufl. (1969)
41. McAnally, R. A.:
Digestion of straw by the ruminant.
Biochem. J. 36, (1942), 392
42. McCoy, G. C., Olsen, H. H., Reed, A.:
Diurnal excretion pattern and digestibility of three complete feeds.
J. Dairy Sci. 49, (1966), 211
43. McGuire, R. L., Bradley, N. W., Little, L. O.:
Effects of frequency of feeding on excretion of chromic oxide, crude protein and gross energy and on nutrient digestibility by steers.
J. Anim. Sci. 25, (1966), 185

44. Møllgaard, H.:

Grundzüge der Ernährungsphysiologie der Haustiere.

Verlagsbuchhandlung P. Parey, Berlin (1931)

45. Mueller, W. J.:

Feasibility of the chromic oxide and the lignin indicator methods for metabolism experiments with chickens.

J. Nutr. 58, (1956), 29

46. Neatherie, M. W.:

Dry matter disappearance of roughages in nylon bag suspended in the rumen.

J. Dairy Sci. 52, (1969), 74

47. Nehring, K., Schiemann, R., Hoffmann, L., Jentsch, W.:

Die energetische Verwertung der Futterstoffe.

Arch. Tierern. 13, (1963), 119

48. Paloheimo, L., Paloheimo, I.:

Eine photometrische Methode zur Bestimmung des Chromoxyds bei Verdaulichkeitsuntersuchungen nach sogenannten quantitativen Indikatorverfahren.

Tierern. 7, (1935), 317

49. Petry, H., Rapp, W.:

Zur Problematik der Chromoxidbestimmung in Verdauungsversuchen.

Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelk.

27, (1971), 181

50. Piatkowski, P., Kasdorff, K., Steger, H., Püschel, F.:

Verdaulichkeit und Aufnahme von Weidegras, untersucht mit Hilfe der konventionellen und der Indikatormethode an Milchkühen.

Arch. Tierern. 12, (1962), 193

51. Piatkowski, P., Steger, H., Püschel, F.:

Die Anwendung von Chromoxyd zur Verdaulichkeitsbestimmung bei Fütterungsversuchen mit Milchkühen.

Arch. Tierern. 14, (1964), 367

52. Piatkowski, P., Steger, H., Püschel, F.:

Bestimmung sowie Ausscheidung von Chromoxyd bei im Stall gefütterten und weidenden Milchkühen.

Arch. Tierern. 12, (1962), 137

53. Putnam, P. A., Loosli, J. K., Warner, R. G.:

Excretion of chromium oxide by dairy cows.

J. Dairy Sci. 41, (1958), 1723

54. Rapp, W.:

Verdaulichkeitsuntersuchungen beim Schwein mit
Hilfe der Nylonbeutel-Technik.
Med. vet. Diss., München (1972)

55. Réaumur, R.-A. F. de:

Histoire de l'Académie Roy. (1752)
Aus: Spallanzani: Versuche über das Verdauungs-
Geschäfte des Menschen und verschiedener Thier-
Arten.
Verl. d. Dykischen Buchhandlung Leipzig (1785),
134

56. Reid, J. T. et al.:

A new indicator method for the determination of
digestibility and consumption of forage by rumi-
nants.
J. Dairy Sci. 33, (1950), 60

57. Richards, C. R., Conolly, J. D., Haenlein, G. F. W.,
Fleeger, G. L.:

Comparison of the digestible dry matter harvest
from orchardgrass and bromegrass pastures by
grazing cows.
J. Dairy Sci. 44, (1961), 340

58. Rubner, M.:

Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung.
Deuticke, Leipzig und Wien (1902)

59. Scheunert, A., Trautmann, A.:

Lehrbuch der Veterinärphysiologie.

Verl. P. Parey, 5. Aufl. (1965), 189 - 267, 534

60. Schürch, A. F.:

Die Chromoxyd-Indikator-Methode zur Verdau-
lichkeitsbestimmung.

Mitteil. auf d. Gebiet der Lebensmittelunter-
suchung und Hygiene 43, (1952), 335

61. Schürch, A. F., Crampton, E. W., Haskill, S. P.,
Lloyd, L. E.:

The use of chromic oxide in digestibility stu-
dies with pigs fed ad libitum in the barn.

J. Anim. Sci. 11, (1952), 261

62. Schürch, A. F., Lloyd, L. E., Crampton, E. W.:

The use of chromic oxide as an index for deter-
mining the digestibility of a diet.

J. Nutr. 41, (1950), 629

63. Spallanzani:

Versuche über das Verdauungs-Geschäfte des Men-
schen und verschiedener Thier-Arten.

Verl. d. Dykischen Buchhandlung Leipzig (1785),
134

64. Stählin, A.:

Die Beurteilung der Futtermittel, Methodenbuch XII.

Neumann Verlag, Radebeul und Berlin (1957)

65. Trautmann, A., Asher, Th.:

Zur Frage der Celluloseverdauung. Ein Beitrag
zum Abbau der Cellulose im Blinddarm und Kolon
des Schweines.

Tierern. 13, (1941), 545

66. Troelsen, J. E.:

A note of sustained release of chromic oxide in
the rumen of sheep from a chromic oxide-dental
plaster pellet.

Anim. Prod. 7, (1965), 127

67. Wöhlbier, W., Eggers, G., Lederle, P.:

Die Technik des Tierversuchs.

Neumann Verlag Radebeul und Berlin,

Methodenbuch 13, (1953), 25, 96

68. Wood, T. M.:

Cellulose and Cellulolysis.

World Review of Nutr. and Diet. 12, (1970), 227

Herrn Professor Dr. Dr. Jürgen Tiewst[†] und Herrn Professor DDr. DDr. h. c. Johannes Brüggemann möchte ich für die Überlassung des Themas und die ausgezeichneten Arbeitsbedingungen in ihren I_nstituten danken.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. H.-P. Petry für das Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte und für die jederzeit bereitwillig gewährte Beratung.

H) LEBENS LAUF

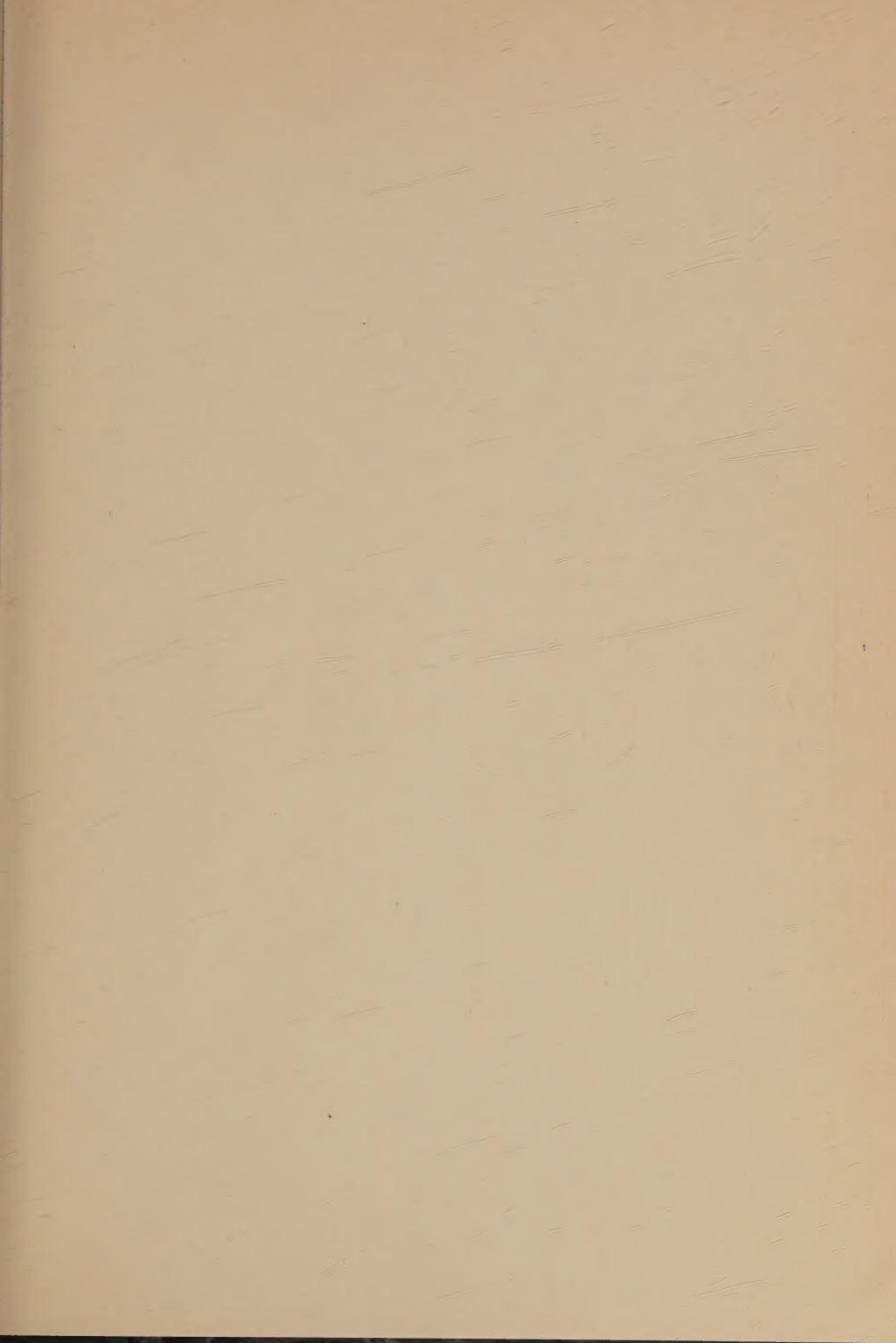
Am 11. Februar 1940 wurde ich als drittes Kind des Steuer- und Gemeindevorsteher Willi Rech und dessen Ehefrau Maria geb. Bacher in Kirchheimbolanden/Pfalz geboren. Nach unserem Umzug nach Rhodt unter Rietburg besuchte ich ab 1950 das Progymnasium in Edenkoben, und legte im Frühjahr 1961, nachdem ich zum Staatlichen Neusprachlichen Gymnasium in Landau/Pfalz übergewechselt war, die Reifeprüfung ab.

Vom 1. April des gleichen Jahres an leistete ich meinen 15 Monate dauernden Wehrdienst bei der Bundeswehr ab.

Im Anschluß daran begann ich mit dem Studium an der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität in München, wo ich am 30. 5. 1969 die tierärztliche Prüfung ablegte. Meine Approbation erhielt ich mit Wirkung vom 1. September 1969.

Ab 1. Juli 1969 arbeitete ich als Assistent in einer tierärztlichen Praxis, bis ich im März 1971 zum Leiter des Städtischen Schlacht- und Viehhofes in Neustadt/Weinstraße bestellt wurde, wo ich gleichzeitig eine Praxis eröffnete.

Seit 1967 bin ich mit der Apothekerin Sigrid geb. Schulz verheiratet, wir haben zwei Kinder im Alter von fünf und zwei Jahren.



The first part of the book is devoted to a general survey of the history of the world, from the beginning of time to the present day. The author discusses the various stages of human development, from the earliest primitive societies to the modern world. He also touches upon the major events and figures that have shaped the course of history.

The second part of the book is a detailed account of the various civilizations that have flourished throughout the world. The author describes the achievements of the ancient Egyptians, the Greeks, the Romans, and the Chinese, among others. He also discusses the rise and fall of the great empires, and the impact of their cultures on the world today.

The third part of the book is a study of the modern world, from the late 19th century to the present. The author discusses the industrial revolution, the rise of the nation-states, and the two world wars. He also touches upon the current state of the world, and the challenges that it faces.

